



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Desarrollo de una ayuda técnica para
alumnos del colegio San Rafael (11):
Mando y panel multisensorial interactivo
(2)

Autor: Javier Ramos Nodal

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Tutor: Braulio García Cámara (Dep. de Tecnología Electrónica)

Codirector: Ricardo Vergaz Benito (Dep. de Tecnología Electrónica)

Fecha: 18 de junio de 2014



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Título: Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (11): Mando y panel multisensorial interactivo (2)

Autor: Javier Ramos Nodal

Tutor: Braulio García Cámara

Codirector: Ricardo Vergaz Benito

EL TRIBUNAL

Presidente: Antonio Lázaro Blanco

Vocal: Begoña Savoini Cardiel

Secretario: Fernando Martín Monar

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 12 de Julio de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Llegó el momento, éstas son mis últimas líneas, la barrera que me separa de poder decir que acabé el proyecto y la memoria. Ha sido un camino muy duro, y qué mejor manera de acabar que por el principio, para dar las gracias a todas aquellas personas que me han acompañado o que, al verme sufrir o decaer un poco en algún momento, me levantaron el ánimo y me devolvieron la motivación para seguir adelante, sin ellos tampoco habría sido posible.

En primer lugar, quería dar las gracias a mi familia, que han hecho posible que yo haya podido llegar hasta aquí. Me han ayudado en todo momento con todo lo que necesitaba, se han sacrificado para que yo pudiera tener mis estudios y vivir en la residencia y en el piso de estudiantes, sin ellos nada de esto habría sido posible.

Por supuesto, doy las gracias a Alba, mi novia desde hace un año, que me ha servido de apoyo a lo largo del proyecto. Me ha levantado mucho el ánimo cuando estaba decaído y ha aguantado épocas de estrés y mal humor cuando no me salían las cosas bien. Además, hacía algún recadito yendo a comprar material por mí he incluso me ayudó a pintar la pantalla.

Otra Alba a la que debo dar las gracias es mi compañera del proyecto, más que por ser compañera de proyecto, por ser compañera de toda la carrera y una de las mejores amigas con la que se puede contar. Su participación en este proyecto ha sido vital no sólo para tener su parte del proyecto, sino también por su gran colaboración en la mía propia. También aprovecho este párrafo para agradecerle a su amiga Eva su colaboración editando los videos de la memoria.

Agradezco también el apoyo de mis amigos de toda la vida, porque se han preocupado siempre en saber cómo llevaba el proyecto, toda la carrera en general, y sobre todo se han preocupado por mí, y sin duda alguna me han ayudado a salir adelante en más de una ocasión, o me sacaban para relajarme cuando más falta me hacía.

Doy las gracias también a todos los técnicos del laboratorio que nos han prestado material, y los compañeros del Grado que estaban con nosotros haciendo sus proyectos en el aula 1.2.C12 por hacer la jornada mucho más amena.

También agradezco los consejos de los profesores Luis Mengíbar Pozo y Antonio Lázaro Blanco que pusieron su granito de arena en este proyecto, ayudándonos a elegir la mejor solución posible en la lógica para el audio y en la alimentación de la pantalla respectivamente.

Agradezco a los profesores del Colegio de Educación Especial del Hospital San Rafael de Madrid el buen trato que han tenido con nosotros, la rapidez con la que respondían siempre que les preguntábamos dudas sobre cómo debía ser algo estética o funcionalmente. Proyecto a parte, aprovecho este párrafo para dar las gracias al personal del centro por la labor que realizan, son majísimos y su trabajo es de verdad admirable.

Una contribución de la que no me puedo olvidar es la de Equin S.A, una distribuidora española que nos proporcionó el chip reproductor/grabador de voz de forma gratuita con el fin de colaborar altruistamente con el proyecto, por el tipo de usuario al que va dirigido.

Por último, y no por ello menos importante, doy las gracias al tutor y al codirector del proyecto, en especial a Ricardo por haber hecho posible todo lo que aquí se cuenta, sin su guía no habríamos sido capaces de llegar al final del camino, y sobre todo gracias por llevarnos a trabajar con el colegio San Rafael, ha sido una experiencia única y de lo más gratificante.

¡Muchas gracias a todos!

Resumen

Este trabajo se enmarca dentro de un proyecto global desarrollado en el marco de colaboración entre el Colegio de Educación Especial del Hospital San Rafael de Madrid para niños con disfunciones cognitivas y motoras y el Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas de la Universidad Carlos III de Madrid (GDAF-UC3M).

El objetivo del trabajo es desarrollar un sistema que permita potenciar la relación causa-efecto y la memoria en los niños del colegio mediante un juego audiovisual interactivo especialmente adaptado a sus necesidades, al menor coste posible.

El proyecto se divide en 2 grandes bloques totalmente dependientes el uno del otro: un mando para permitir la interacción del niño con el sistema y una pantalla para instar al jugador a que actúe o para responder a su actuación con luces y sonidos. Cada parte se corresponde con un subproyecto realizado mediante un Trabajo Fin de Grado. El presente trabajo se centra en los procesos realizados para diseñar, construir y probar la pantalla.

La comunicación entre ambos sistemas es inalámbrica por radiofrecuencia, y es capaz de transmitir lo bastante lejos como para dar libertad a la hora de situar el mando, pero no tan lejos como para afectar a componentes de otras salas.

La pantalla dispone de 6 casillas, cada una de un color y con una grabación de voz asociada, a parte de dos sonidos musicales generados directamente por una señal PWM. Tiene también una interfaz para los profesores del centro que permite configurar el juego. Dicha interfaz cuenta además con una entrada Jack para permitir la conexión de cualquier sistema de audio externo del que dispongan a los profesores. La pantalla se alimenta conectando directamente a la red con un adaptador de corriente, y lleva un regulador de tensión a la salida del mismo para adecuar el nivel de tensión al requerido por los ICs utilizados.

El Trabajo parte de unas especificaciones genéricas de funcionamiento, y describe todo el proceso de diseño hardware y software hasta la implementación final. La construcción pasa por sistemas con microcontrolador, recepción de señal por radiofrecuencia y decodificación, iluminación por medio de LEDs y etapas de amplificación de señales de audio

El sistema se ha probado en el colegio San Rafael con resultados satisfactorios.

Abstract

This project is part of the collaboration between the Special Education School of the Hospital San Rafael in Madrid for children with cognitive and motor dysfunction and the Displays and Photonics Applications Group of the Carlos III University of Madrid (GDAF-UC3M).

The objective of this project is to develop a system that allows the improvement of the cause-effect relation and memory skills in the children of the school by means of an audiovisual interactive game specially adapted to their requirements, with the lowest possible cost

This project is divided in 2 big blocks that totally depend each other: a remote control that allows the interaction between the child and the system and a screen to ask the player for an action or to answer to the player's actuation with lights and sounds. Each part corresponds with a different Trabajo Fin de Grado. The current one is devoted to the screen design and development.

The communication between both systems is wireless technology by RF, and it will be able to broadcast far enough to ensure the use of the remote control wherever it would be desired, but not too far to affect to another systems in the other rooms.

The screen has 6 boxes, each one with its colour and its own voice playback, apart from 2 musical sounds generated by a PWM signal. It has an interface to the school's teachers that permits the configuration of the game. That interface has a jack input in order to allow the teachers to connect any available sound system. The screen is fed by connecting directly to the mains with a current adapter, and has a voltage regulator on its output to adjust the voltage level to the used IC's requirements.

The present work begins with generic working specifications, describes the full hardware and software design process to the final implementation. The developments uses microcontroller systems, RF signals reception and decoding, LEDs control and audio amplifying stages.

The system has been tested in the school successfully

Índice de contenido

Agradecimientos	4
Resumen	6
Abstract	7
Índice de Figuras	10
Capítulo 1. Introducción y objetivos	14
1.1 Introducción	14
1.1.1 El diseño para todos.....	14
1.1.2 El colegio de San Rafael. Presentación.....	16
1.1.3 Ayudas técnicas en el mercado similares a la desarrollada	19
1.2 Objetivos	21
1.3 Especificaciones del sistema	21
1.3.1 Componentes del sistema.....	21
1.3.2 Funcionamiento demandado.....	22
1.3.4 Requerimientos finales	23
1.4 Fases del proyecto	23
1.5 Medios utilizados	24
1.6 Descripción de la presente memoria	25
1.6.1 Descripción del capítulo 2	25
1.6.2 Descripción del capítulo 3	26
1.6.3 Descripción del capítulo 4	26
1.6.4 Descripción del capítulo 5	26
Capítulo 2. Diseño del sistema	27
2.1 Diseño del sistema completo: visión general.....	27
2.1.1 Modos configurables	27
2.1.1.1 Modo de juego 1	28
2.1.1.2 Modo de juego 2	28
2.1.1.3 Modo de funcionamiento	28
2.2 Diseño del panel interactivo	29
2.2.1 Mecanismos a realizar.....	29
2.2.2 Interfaz con usuarios: botonera para los cuidadores y LEDs para los alumnos.....	30
2.2.2.1 Botonera para los cuidadores	30
2.2.2.2 LEDs para los alumno	31
2.2.3 Sistema de recepción de radiofrecuencia	35
2.2.3.1 Demodulador	35
2.2.3.2 Decodificador	37
2.2.3.3 Alternativa de diseño para el decodificador del sistema de recepción por RF	41
2.2.4 Microcontrolador	42
2.2.4.1 El ATmega 328P-PU.....	42

2.2.4.2	Montaje para transferir programa	43
2.2.4.3	Nuestro montaje	44
2.2.4.4	Alternativa al ATmega: el microcontrolador 8051	46
2.2.5	Sistema de audio	46
2.2.5.1	Reproductor/grabador de voz.....	46
2.2.5.2	Lógica del audio	50
2.2.6	Sistema de alimentación	52
Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales.....		56
3.1	Software del microcontrolador	56
3.1.1	Programa principal.....	56
3.1.2	Funciones agregadas al programa principal	66
3.2	Construcción mecánica del sistema.....	68
3.2.1	Material de construcción de la pantalla.....	69
3.2.2	Dimensiones.....	69
3.2.3	Colores del acabado de la pantalla y la botonera	69
3.2.4	Diseño del marco	70
3.2.5	Evolución de la botonera	71
3.2.6	Matriz de LEDs RGBs	73
3.2.7	Ensamblaje pantalla	74
3.2.8	Resultado final	75
3.3	Implementación de la electrónica	75
3.4	Pruebas de comunicación correcta desde el mando	80
Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final.....		82
4.1	Pruebas desarrolladas	82
4.1.1	Funcionamiento satisfactorio de los modos de juego	82
4.1.2	Medidas de alcances y pruebas de iluminación.....	83
4.2	Pruebas en entorno real y con usuarios finales	84
4.3	Presupuesto.....	85
Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras.....		89
5.1	Conclusiones	89
5.2	Líneas futuras	89
Bibliografía		92
Anexos		94
Anexo 1. Manual de usuario		94
Manual de instrucciones		94
Mando y panel multisensorial interactivo		94
Universidad Carlos III de Madrid		94
Anexo 1.1 Contenido		95
Anexo 1.2 Para jugar		96
Anexo 1.2.1 Encendido.....		96
Anexo 1.2.2 Modos de Juego		97

Anexo 1.2.3 Modos de funcionamiento	98
Anexo 1.3 Audio	99
Anexo 1.3.1 Mensajes de voz	99
Anexo 1.3.2 Altavoces	100
Anexo 1.4 Alimentación y pilas	100
Anexo 1.4.1 Pantalla	100
Anexo 1.4.2 Mando	101
Anexo 1.5 Posibles problemas y sus soluciones	101
Anexo 2. Planos de piezas construidas.....	103
Anexo 2.1. Medidas de las piezas a recortar: base	103
Anexo 2.2 Medidas de las piezas a recortar: bandeja	104
Anexo 2.3 Medidas de las piezas a recortar: marco	104
Anexo 2.4 Medidas de las piezas a recortar: botonera.....	105
Anexo 3 Esquemático del circuito.....	106
Anexo 3.1 Esquemático receptor de radiofrecuencia.....	106
Anexo 3.2 Microcontrolador.....	106
Anexo 3.3 Sistema de audio.....	107
Anexo 4 Programación del microcontrolador.....	108
<i>Índice de acrónimos.....</i>	<i>119</i>

Índice de Figuras

Figura 1. Colegio de educación especial San Rafael de Madrid	16
Figura 2. Captura del pasillo principal del centro.....	17
Figura 3. Sala en la que se quedará el proyecto.....	18
Figura 4. Pulsador personalizado	19
Figura 5. Área de luz y sonido compuesto de 9 losetas y panel mural de Handycat [4]20	
Figura 6. Cuadrados musicales (Handycat) [4]	20
Figura 7. Diagrama de Gantt.....	24
Figura 8. Diagrama de bloques general.....	27
Figura 9. Diagrama de bloques de la pantalla	29
Figura 10. Botonera	30
Figura 11. DIODO LED 5MM CLEAR RGB 35°	31
Figura 12. Esquema interno de un LED RGB a la (izquierda) y su patillaje (derecha) ...	32
Figura 13. Esquema de la generación de los distintos colores usando un LED RGB y señales PWM	33
Figura 14. Conexión de cada rama	34
Figura 15. Optimización del uso de las resistencias	34
Figura 16. AM-HRR3-433 [8].....	35
Figura 17. Descripción de pines del RF600D (de la hoja de características RF600D).....	38
Figura 18. Salida del pin SD1 (de la hoja de características RF600D).....	38
Figura 19. Codificador (RF600E) del mando y modulador. Bloque de transmisión por RF desde el mando [1].....	39

Figura 20. Configuración de la función de las salidas del RF600D (de la hoja de características RF600D)	40
Figura 21. Esquema interno de MC145026 y MC145027 (hoja de características del MC145026 y MC145027)	41
Figura 22. Pinout del microcontrolador ATmega 328P-PU [10].....	43
Figura 23. . Montaje para usar ARDUINO para programar el ATMEGA32. [11].....	43
Figura 24. Programador LabTool-48.....	46
Figura 25. ISD1916 con encapsulado SOIC(28).....	46
Figura 26. Configuración de pines (de la hoja de características del ISD1916).....	47
Figura 27. Micrófono. A la izquierda el micrófono incrustado en la botonera, a la derecha el componente completo	49
Figura 28. Jack de 3.5 mm	49
Figura 29. SuperPro-6000E Universal Programmer – Xeltek [14]	51
Figura 30. Jack de alimentación.....	52
Figura 31. Selector de tensión entregada que incluye nuestro adaptador.....	53
Figura 32. Jacks incluidos con el adaptador de corriente. En la esquina inferior derecha se encuentra el utilizado.	53
Figura 33. Regulador de tensión L7805	54
Figura 34. Esquema térmico del L7805	54
Figura 35. Alimentación de nuestra pantalla	55
Figura 36. A la izquierda el fusible utilizado, a la derecha el fusible colocado ya en su zócalo.....	55
Figura 37. Primera y segunda parte del programa principal.....	57
Figura 38. Tercera parte del programa principal.....	58
Figura 39. Inicialización del sistema y selección del MDJ.....	59
Figura 40. . Configurar modo de funcionamiento en MDJ2	60
Figura 41. Creación de la secuencia de colores que se pide reproducir en MDJ2	61
Figura 42. Esperando actuación del usuario en MDJ2	62
Figura 43. Analizando actuación del usuario (1) en MDJ2	63
Figura 44. Analizando actuación del usuario (2) en MDJ2	64
Figura 45. MDJ1	65
Figura 46. Función de selección	66
Figura 47. Funciones de coloreado.....	67
Figura 48. Función de configuración	68
Figura 49. Tablas de madera de contrachapado recortadas para la construcción de la pantalla	69
Figura 50. Tablas cortadas y pintadas	70
Figura 51. Marco inicial	70
Figura 52. Marco final.....	71
Figura 53. Pantalla con botonera a la izquierda y ampliación de la botonera a la derecha.....	72

Figura 54. Botonera con dos canales de audio.....	72
Figura 55. Diseño final de la botonera.	73
Figura 56. LED RGB con cables soldados a sus patillas.....	73
Figura 57. Casilla de color rojo	74
Figura 58. A la izquierda, colores de cada casilla de la pantalla. A la derecha resultado	74
Figura 59. Resultado final de la pantalla	75
Figura 60. Comunicación por RF en placa de pruebas	75
Figura 61. Receptor de RF con microcontrolador incorporado	76
Figura 62. Probando colores.....	76
Figura 63. Probando los modos de juego y de funcionamiento	77
Figura 64. Encapsulado del ISD1916 (SOIC 28) (Hoja de características del ISD1916) ..	77
Figura 65. ISD1916 soldado sobre la PCB auxiliar	77
Figura 66. Soldando las patillas del ISD1916	78
Figura 67. ISD1916 conectado en la placa de pruebas.....	78
Figura 68. Pruebas definitivas	78
Figura 69. Distintas fases del proceso de soldado	79
Figura 70. Montaje final en placa de soldadura	79
Figura 71. Pruebas de alcance	80
Figura 72. Probando MDJ1	82
Figura 73. Probando MDJ2	82
Figura 74. Señal demodulada (entrada del decodificador).....	83
Figura 75. Pruebas del sistema en el centro realizadas en el centro	84
Figura 76. Introducir sendas notas musicales por una misma entrada del micro [13]..	90
Figura 77. Portada del manual de instrucciones	94
Figura 78. Pantalla y mando	95
Figura 79. Ejemplo de accionamiento de los interruptores	96
Figura 80. Accionamiento de la palanca.....	96
Figura 81. Interruptores On/Off	97
Figura 82. Interruptores de modo de juego	98
Figura 83. Interruptores de modo de funcionamiento	99
Figura 84. Pulsadores de acceso al audio	99
Figura 85. Micrófono y palanca selectora de Play/Rec	100
Figura 86. Puerto Jack de entrada para los altavoces	100
Figura 87. Entrada de alimentación de la pantalla.....	101
Figura 88. Acceso a la carcasa de las pilas.....	101
Figura 89. Tablas de la base.....	103
Figura 90. Base de la pantalla.....	103
Figura 91. Tablas bandeja	104
Figura 92. Base de la pantalla con la bandeja ya integrada	104
Figura 93. Medidas marco	104

Figura 94. Marco de la pantalla	105
Figura 95. Medidas botonera	105
Figura 96. Receptor de RF.....	106
Figura 97. Microcontrolador.....	106
Figura 98. . Esquemático del ISD1916 (de la hoja de características ISD1916).....	107
Figura 99. Lógica del audio	107

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

1.1.1 El diseño para todos

Existe en la actualidad un creciente interés por lograr una adaptación de los productos y servicios ofrecidos al mayor público posible, principalmente para ampliar los horizontes de personas con algún tipo de discapacidad mejorando así su calidad de vida. El **Diseño para Todos** pretende lograr este objetivo, garantizando que el producto o servicio ofrecido se ha diseñado adaptado al uso del rango más amplio posible de usuarios. Esto no sólo aumenta la calidad de vida de muchas personas, sino que además mejora su autoestima al hacerlas sentirse más capaces al poder interactuar con los objetos cotidianos de su entorno.

Es muy importante promover este modelo de diseño, ya que en la sociedad actual aproximadamente un 6% de la población sufre algún tipo de discapacidad, y en la mayoría de los casos encontramos que los productos no están adaptados a sus necesidades. Además, todas las personas en algún momento de su vida tienen dificultades para poder aprovechar todos los elementos de su entorno, ya sea por alguna lesión física, por ser demasiado pequeños, o porque el paso del tiempo merma nuestras capacidades a partir de cierta edad. Según estadísticas, aproximadamente un 40% de nuestro tiempo de vida tenemos dificultades para interacciones con todos los elementos del entorno. [1]

En España, la Ley 51/2003 define este diseño como:

“La actividad por la que se concibe o proyecta, desde el origen, y siempre que ello sea posible, entornos, procesos, bienes, productos, servicios, objetos, instrumentos, dispositivos o herramientas, de tal forma que puedan ser utilizados por todas las personas, en la mayor extensión posible.” [2]

Además, es considerado un modelo de diseño a promover por el Plan de Acción del Consejo de Europa.

“El Diseño Universal es un método efectivo para mejorar la accesibilidad y la calidad del entorno, servicios y productos. Se centra en la importancia de asegurar que el entorno, edificios y los productos cotidianos se diseñan para todos desde las primeras fases, sin necesidad de adaptarlos en fases posteriores. (...) Promover el principio del Diseño Universal, su aplicación y la participación del usuario en todas las fases del diseño es de vital importancia para mejorar la accesibilidad del entorno

construido, el transporte, los sistemas de comunicación y la usabilidad de los productos.”¹ [2]

Un buen ejemplo de diseño para todos que prácticamente se ha llegado a estandarizar a nivel mundial sería el del grifo monomando. Su diseño facilita mucho la apertura del grifo y el ajuste de temperatura gracias a un diseño mucho más ergonómico que los cada vez más en desuso grifos con dos manillas. Para una persona con discapacidad motriz debía ser muy complicado abrir este anticuado tipo de grifos, y más aún ajustar la temperatura del agua. [3]

- **Principios del diseño para todos**

Para facilitar al usuario la utilización del producto se deben cumplir las 7 características siguientes: [1]

1. *Igualdad de uso*: el diseño debe ser fácil de usar y adecuado para todas las personas independientemente de sus capacidades y habilidades.

2. *Flexibilidad*: el diseño debe poder adecuarse a un amplio rango de preferencias y habilidades individuales.

3. *Simple e intuitivo*: el diseño debe ser fácil de entender independientemente de la experiencia, los conocimientos, las habilidades o el nivel de concentración del usuario.

4. *Información fácil de percibir*: el diseño debe ser capaz de intercambiar información con usuario, independientemente de las condiciones ambientales o las capacidades sensoriales del mismo.

5. *Tolerante a errores*: el diseño debe minimizar las acciones accidentales o fortuitas que puedan tener consecuencias fatales o no deseadas.

6. *Escaso esfuerzo físico*: el diseño debe poder ser usado eficazmente y con el mínimo esfuerzo posible.

¹ Consejo de Europa, *Plan de Acción del Consejo de Europa para la promoción de derechos y la plena participación de las personas con discapacidad en la sociedad: mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad en Europa 2006-2015*

7. *Dimensiones apropiadas*: los tamaños y espacios deben ser apropiados para el alcance, manipulación y uso por parte del usuario, independientemente de su tamaño, posición, y movilidad.

Unido a todo ello, el Diseño para Todos promueve el contacto directo con los usuarios finales del sistema a realizar en todas las fases de Diseño, a fin de evitar problemas inesperados de usabilidad en la entrada al mercado del mismo. Como se verá, el presente Trabajo ha aplicado esta norma estrictamente.

1.1.2 El colegio de San Rafael. Presentación

El proyecto está orientado a proporcionar una ayuda a los alumnos del colegio de educación especial San Rafael de Madrid (Figura 1).



Figura 1. Colegio de educación especial San Rafael de Madrid

El colegio, en funcionamiento desde 1976 y situado en el recinto del hospital San Rafael (Calle Serrano, 199), atiende a alumnos seriamente discapacitados tanto psíquica como físicamente con edades comprendidas entre los 3 y los 21 años. Los alumnos se organizan en 3 grupos con los que el personal trabaja:

- Educación Infantil para alumnos entre 3 y 6 años.
- Educación Básica Obligatoria para alumnos entre 6 y 16 años.
- Programa de Transición a la Vida Adulta para alumnos entre 16 y 21 años.

Dichos alumnos son tratados conforme a sus necesidades por profesionales de cada uno de los campos que se precisan en un colegio de estas características, proporcionándoles un tratamiento integral que abarca aspectos pedagógicos, físicos,

de comunicación, salud, alimentación, aseo e higiene. El personal del colegio está compuesto por:

- Profesores de Educación Especial.
- Pedagogas.
- Logopedas
- Psicólogos
- Fisioterapeutas
- Profesor de Ayudas Técnicas
- Auxiliares Técnico – Educativos
- Terapeuta Ocupacional



Figura 2. Captura del pasillo principal del centro

El complejo está organizado en salas (Figura 2) que muestran en cada puerta un pictograma o pictograma explicativo sobre dibujo ideográfico sin contener ningún carácter escrito que explica la actividad que se desarrolla en su interior, de manera que los niños asocien el dibujo a la clase. La sala que nos ocupa en este Trabajo Fin de Grado (en adelante, TFG) es la de la Figura 3.



Figura 3. Sala en la que se quedará el proyecto

Lamentablemente la mayoría de productos comerciales desarrollados a este respecto están enfocados para el grueso de la población. La comunidad de personas con discapacidad (entorno al 6% de la población) se ve afectado por este motivo ya que los productos tecnológicos no se adaptan a sus necesidades y/o condiciones.

Existen, no obstante, empresas, que se dedican o tienen un departamento específico para adaptar dichos artículos pero los precios de mercado ascienden notablemente y el abanico de productos es reducido debido a la variedad de condiciones de las personas con discapacidad.

Debido a la especificidad, y por tanto al alto precio de los equipos que los niños requieren, los profesores del centro tratan de adecuar los productos del mercado habitual a las necesidades particulares de los alumnos del centro. Por ejemplo, una técnica habitual es introducir una entrada Jack hembra en los juguetes o aparatos. De este modo, a través de un Jack macho acoplado a su pulsador personalizado (Figura 4), los alumnos son capaces de interactuar con el dispositivo. Cada alumno dispone de su propio pulsador (a veces adaptado a pulsar con el mentón, con la cabeza o simplemente mediante soplido), como parte de su instrumental cotidiano.



Figura 4. Pulsador personalizado

Por todo esto, los profesores del centro sugieren normalmente el diseño de una ayuda técnica para los alumnos, construyendo de manera totalmente adaptada y desde cero un equipo que puedan utilizar como complemento a su desarrollo.

Para ello, en este Trabajo se ha creado un juego que estimule sensorialmente a los niños y que les haga apreciar la reacción causa-efecto a través de un panel y un mando que interactúen entre ellos.

1.1.3 Ayudas técnicas en el mercado similares a la desarrollada

Como se comentó anteriormente en el mercado existen ya productos comerciales que ahondan en la relación causa-efecto similares al desarrollado. Muchos de ellos orientan su uso para todo tipo personas incluyendo al colectivo al que va dirigido el proyecto y se ubican en salas Snoezelen.

Una sala multisensorial o Snoezelen, es un espacio pensado para que una persona con discapacidad o sin ella obtenga beneficios en base a estímulos sensoriales. Estas salas reúnen sistemas pensados para que el individuo experimente una estimulación controlada, dirigida, presentada en combinación o sola y un largo etcétera de posibilidades que permitan trabajar la motivación, los intereses, la relajación pudiendo gestionar las necesidades educativas y terapéuticas de los usuarios.

Este tipo de salas y los productos que encontramos en ellas tienen un alto precio, derivado de su exclusividad y de la diversidad de adaptaciones que, centrando su utilidad para personas con discapacidad cognitiva y motora, pueden conllevar.

El proyecto que se va a realizar tiene su reflejo en productos como el que muestra la Figura 5, de la empresa Handycat [4], el producto tiene un precio de 4606,9€.



Figura 5. Área de luz y sonido compuesto de 9 losetas y panel mural de Handycat [4]

Las losetas se iluminan y suenan cuando el usuario se mueve por encima. Este modelo incorpora además un panel de pulsadores; cuando se toca el panel las losas se encienden y viceversa.

Otro producto de características similares al implementado es el que se muestra en la Figura 6, también de la empresa Handycat [4], y tiene un coste de 1613,89€. Formado por una colchoneta y un panel mural, el panel se ilumina y suena con la pulsación de los contactores que se encuentran bajo cada casilla de color en la colchoneta.



Figura 6. Cuadrados musicales (Handycat) [4]

Parte sustancial como objetivo del proyecto que se va a realizar es que, aun reuniendo características similares a las de los productos anteriormente descritos, sea de muy bajo coste. Esta condición lo haría más accesible para los centros o individuales que lo necesiten, siendo a la vez una condición necesaria en el desarrollo del Trabajo Fin de Grado (TFG) por las limitaciones de presupuesto implícitas a él, y ofreciendo el valor añadido al propio Colegio por no suponerle al mismo apenas coste.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el potenciar la relación causa-efecto en niños con discapacidades físicas y cognitivas severas.

La relación causa-efecto es una de las primeras nociones que se aprenden en la infancia. A partir de movimientos involuntarios se aprende que existe una correlación entre acción y consecuencia, lo que da lugar a respuestas consistentes.

Las actividades causa-efecto son particularmente importantes en el caso de niños con discapacidades cognitivas o motoras ya que se requiere mayor estimulación para compensar estos déficits. Con estas actividades se pretende aprovechar movimientos y dotarlos de un significado potenciando así procesos como la atención, la autoestima y la memoria [5].

Se busca más concretamente desarrollar un sistema completo de juego multisensorial e interactivo, que aliente este aprendizaje mediante estímulos audiovisuales, compuesto por una pantalla y un mando inalámbrico que ofrecen una serie de estímulos cromáticos y visuales, obligando a la interacción con el niño, el cual debe seguir las secuencias sugeridas para obtener una respuesta positiva.

En este sub-proyecto se detalla específicamente la implementación y construcción de la pantalla cuyo objetivo es procesar la información proveniente del mando y generar una respuesta audiovisual en concordancia con la actuación del usuario y la configuración actual del juego. El TFG se realiza conjuntamente con el de Alba Rodríguez Lorente [6], que se centra en el desarrollo del mando.

1.3 Especificaciones del sistema

El sistema se compondrá de dos partes claramente diferenciadas y dependientes: un mando a distancia y una pantalla. Ambas, comunicadas entre sí por radiofrecuencia, serán reflejo la una de la otra. Las especificaciones de funcionamiento y dimensiones vienen impuestas por el personal del Colegio San Rafael.

1.3.1 Componentes del sistema

- **Pantalla:**

La pantalla tendrá 6 casillas que se iluminarán con los 6 colores requeridos. Además debe contener un sistema de grabación y reproducción de audio, de modo que se puedan asociar sonidos a cada casilla y que los mismos puedan ser variados.

Las dimensiones acordadas inicialmente eran de 80 x 60 cm para el panel, el cual se dividirá en 6 partes, para mostrar los diferentes colores que se acordaron: azul, amarillo, rojo, naranja, violeta y verde, obtenidos mediante LEDs. Además, dispondrá de una botonera en un lateral para que los monitores puedan ajustar la configuración del juego. Finalmente, y para aportar mayor comodidad al diseño, la botonera acabó pasando a ser una extensión de la propia pantalla. Las dimensiones pasaron entonces a ser de 90 x 60cm para ajustar la pantalla al nuevo diseño, cambio que fue acordado con los cuidadores.

En cuanto al color de la pantalla, el marco debe ser de color negro y las casillas deben estar blancas en ausencia de luz, y colorearse al encenderse los LEDs. El color del resto de la pantalla (base, bandeja y botonera) se elegirá a posteriori por los autores de los TFGs.

Con respecto a la alimentación, se estableció una alimentación directa a la red para no depender de pilas y/o baterías.

- **Mando**

Debe contener 6 pulsadores, que deben poder iluminarse y que muestren de forma claramente visible en todo momento los 6 colores que la pantalla reproduce al iluminarse. Mientras que en la pantalla el color se crea mediante los LEDs, en el mando se usarán LEDs blancos y será el botón el que sea directamente del color al que hace referencia.

Debe tener el tamaño de un folio DIN A4, dividiéndose en 6 partes, una por botón. Los pulsadores deben tener algún tipo de separación para impedir que el niño pulse varios botones de forma simultánea por error. Además, los pulsadores no deben sobresalir de la superficie del mando y al pulsarlos se deben hundir hacia dentro. Los LEDs en el mando son necesarios porque en uno de los modos de juego se iluminan los pulsadores del mando.

El mando deberá incorporar entradas Jack para que los pulsadores individuales de cada niño se puedan conectar al mando y debe estar alimentado con batería o pilas, para evitar cables adicionales por la zona de movimiento de los niños.

1.3.2 Funcionamiento demandado

Con respecto a funcionamiento del sistema, se pidió expresamente la existencia de dos modos de juego y dos modos de funcionamiento para cada uno de ellos:

- **Modo de Juego 1:** Se ilumina algún botón en el mando y se queda encendido a la espera de que el alumno lo pulse. Al pulsarlo, se encenderá el color correspondiente en la pantalla durante 3 segundos para que el niño lo reconozca y sonará la grabación de voz asociada a dicha casilla. Si pulsa cualquier otro botón no sucederá nada². El orden en el que se van encendiendo puede ser secuencial (de izquierda a derecha y de arriba a abajo) o aleatorio, según el modo de funcionamiento en el que se ajuste el juego.
- **Modo de Juego 2:** Se iluminan casillas de la pantalla siguiendo una secuencia y el niño tiene que presionar los botones del mando correspondientes a ella. Cada color de la secuencia se encenderá durante 3 segundos para permitir que el jugador sea capaz de reconocer bien los colores y pueda memorizarlos. Si el niño se equivoca al reproducir la secuencia en el mando, sonará una nota musical grave para indicarlo. Al acertar la secuencia, sonarán notas musicales que indican acierto, y volverá a empezar la secuencia pero aumentada en 1 color. La longitud máxima de la secuencia debe ser de 6, volviendo entonces la longitud a ser 1. De nuevo el modo de funcionamiento implica iluminaciones secuenciales o aleatorias.

1.3.4 Requerimientos finales

La Tabla 1 recoge el conjunto final de especificaciones:

Tabla 1. Especificaciones del sistema

	Pantalla	Mando
Dimensiones	90x60 cm	29,7x21cm
Colores de diseño	Marco negro y fondo blanco	Pulsadores del color a que corresponde
Modos de juego	2 Modos de juego	
Modos de funcionamiento	Secuencial y aleatorio	
Colores de juego	Azul, amarillo, rojo, naranja, violeta, verde	
Duración de luz	3seg	
Sonidos	Grabación de voz MDJ1 y notas musicales MDJ2	
Interfaz de configuración	SÍ	SÍ
Alimentación	Conectado a la red	Independiente de la red

1.4 Fases del proyecto

A continuación se muestra un diagrama de Gantt (Figura 7) con las distintas fases del proyecto. En el diagrama se especifican las actividades dedicadas a cada componente del sistema completo, así como las tareas comunes de la siguiente forma: amarillo = común, rojo = mando, azul = pantalla.

² Los cuidadores lo pidieron así ya que si se ponía algún mensaje de error llamativo en el mando, el usuario iba a perder la atención de la pantalla y probablemente repetiría el error a propósito para volver a visualizar el mensaje de error. Esto ha sido una experiencia adquirida en Proyectos anteriores.

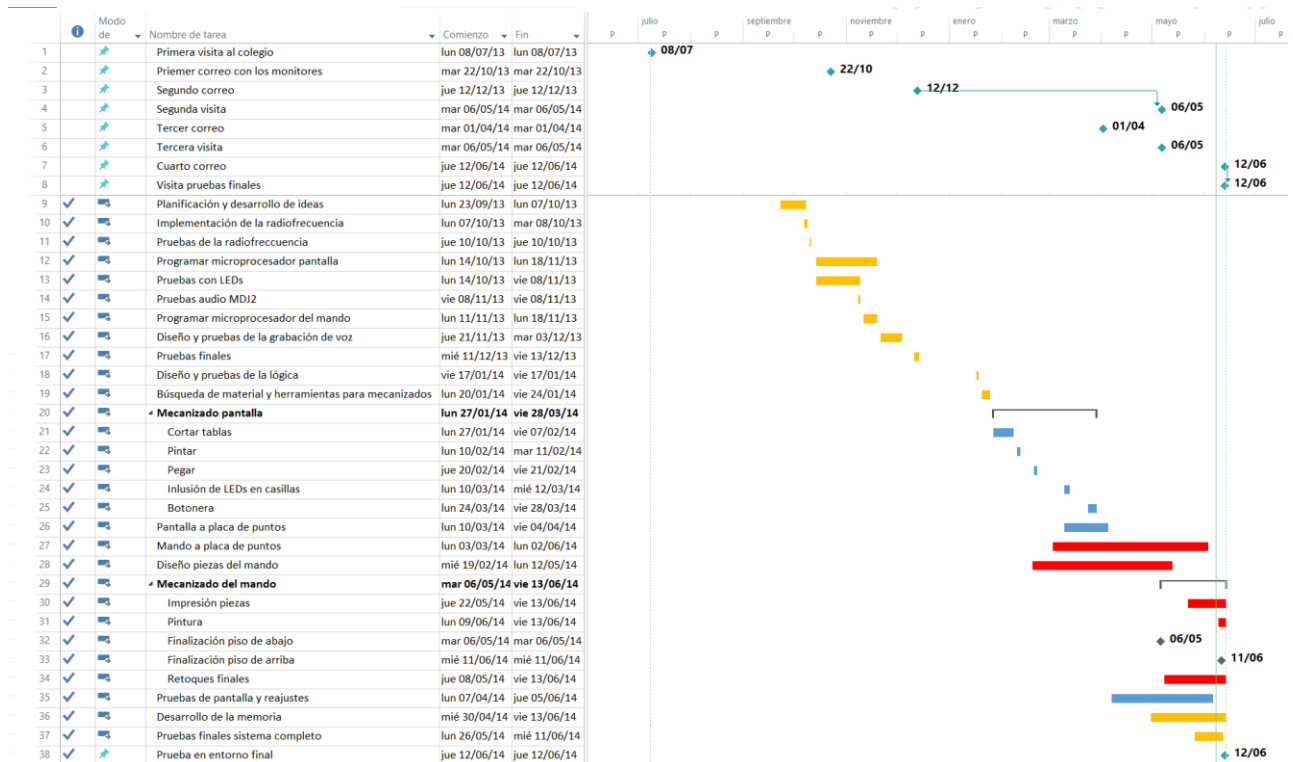


Figura 7. Diagrama de Gantt

1.5 Medios utilizados

El laboratorio de los técnicos del Departamento de Tecnología Electrónica y el laboratorio del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas (1.2.C12) del citado Departamento han puesto a nuestro alcance una gran cantidad de los materiales que se han necesitado en la electrónica del proyecto, entre ellos:

- componentes electrónicos (resistencias, condensadores y regulador de tensión L7805)
- fundas termoretráctiles
- mini PCB para el encapsulado SOIC (ver [sección 3.3](#))
- gran cantidad de conectores macho/hembra y zócalos.
- soldador del laboratorio, hilo de estaño fino y desoldador.
- puesto con ordenador, fuente de alimentación, polímetro y osciloscopio

Para la parte mecánica, la herramienta más importante que ofreció el laboratorio del GDAF fue la impresora 3D y el plástico ABS para la fabricación del mando, como se explica en la sección 3.2.2 del TFG [6].

Por otra parte, se ha recurrido a diversos medios por cuenta ajena, especialmente software y herramientas para el mecanizado de la pantalla.

Programas utilizados: Visio 2013 de Microsoft, Quartus II, Paint, Microsoft Project Professional 2013 y el IDE ARDUINO 1.0.5. Para integrar el programa en el microcontrolador era necesaria una placa ARDUINO, de la que ya se disponía.

Para la implementación de la electrónica se han utilizado placas de pruebas y pilas de petaca para las pruebas iniciales, placas de puntos para el montaje final (ver [sección 3.3](#)) y componentes electrónicos varios.

Para el diseño mecánico de la pantalla (ver [sección 2.2.1](#)), realizada en madera de contrachapado, fue necesario emplear:

- 3 tablones de madera de contrachapado de 120x60cm
- reglas para tomar medidas de los cortes
- segueta para realizar los cortes
- lijas y limas para perfeccionar
- pintura de imprimación blanca y pintura para acabado final verde y negra
- adhesivo “No Más Clavos” de Pattex
- taladradora
- clavos, tornillos, martillo y destornilladores
- papel de acetato, papel de embalaje, cinta adhesiva y cinta aislante
- bisagras y aldaba de hierro latonado

1.6 Descripción de la presente memoria

La memoria se divide en cinco capítulos de la siguiente forma. El primero de los capítulos, en el que nos encontramos, está dedicado a realizar una breve introducción y estado del arte del contexto en que se encuadra el sistema propuesto, así como a definir los objetivos y especificaciones fijados para el Trabajo realizado, y será prácticamente idéntico al mismo apartado en el trabajo [6]. Los capítulos 2, 3 y 4 describen el proceso de diseño, implementación y pruebas del primer prototipo de la pantalla, así como la descripción del sistema final. Y en el capítulo 5 se enumeran las principales conclusiones y líneas futuras de este Trabajo Fin de Grado.

A continuación se incluye una descripción más detallada del contenido de los siguientes capítulos.

1.6.1 Descripción del capítulo 2

Contiene una explicación de los distintos bloques de los que se compone el sistema, desde la estructura de la pantalla hasta cada parte funcional del circuito. En este capítulo veremos que la sección 2.1 es análoga a esa misma sección en la memoria del TFG [6], ya que da una visión general de sistema completo, que será unión de ambas partes. Además, en la sección 2.2.3.2 se incluyen imágenes y

aclaraciones relativas al codificador del mando. La necesidad de incluir dichas aclaraciones para comprender las especificaciones internas del mando es un claro reflejo de la gran dependencia que existe entre ambas partes.

1.6.2 Descripción del capítulo 3

En él se detalla cómo funciona el software implementado en el microcontrolador de la pantalla y cómo se ha realizado la construcción de la pantalla y la implementación electrónica.

Además, se detallan las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento de la radiofrecuencia en las primeras comprobaciones. De nuevo este apartado será común a ambos subproyectos por ser la radiofrecuencia el nexo de unión entre ambas partes.

1.6.3 Descripción del capítulo 4

Se incluyen las pruebas de funcionamiento y las demostraciones en entorno real. Dado que es necesario el proyecto completo para realizar dichas pruebas, gran parte de la información que aparezca en este apartado será idéntica a la mostrada en el otro subproyecto, por ser los resultados comunes.

El presupuesto será común a ambas partes para poder reflejar el coste real de la totalidad del proyecto, remarcando en él los costes que se refieran únicamente a la pantalla.

1.6.4 Descripción del capítulo 5

En este capítulo se resumen las principales conclusiones del proyecto y líneas futuras. Hay ciertos aspectos de las líneas futuras que son muy similares en el TFG [6] ya que hemos seguido el mismo modo de implementación y de trabajo, y al ser ambas partes una reflexión de la otra tendrán soluciones y mejoras de futuro muy similares.

Capítulo 2. Diseño del sistema

2.1 Diseño del sistema completo: visión general

El sistema completo se divide en dos grandes bloques: la pantalla y el mando.

La Figura 8 esquematiza la relación entre estos dos bloques, en los que se profundizará más adelante siguiendo un orden de abstracción de menor a mayor detalle:

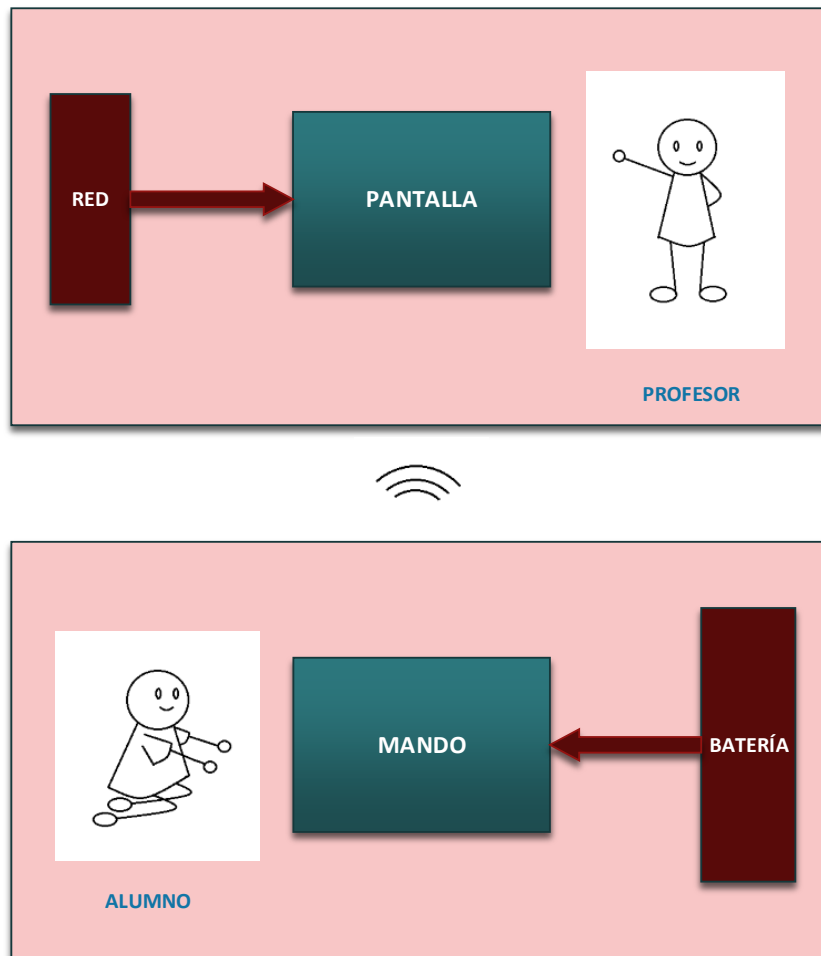


Figura 8. Diagrama de bloques general

El bloque *Mando* se detalla en profundidad en el trabajo [1], mientras que, el bloque *Pantalla* se describe a continuación en la presente memoria de proyecto.

2.1.1 Modos configurables

El sistema contará con la posibilidad de configurar dos modos de juego diferentes, cada uno con dos modos de funcionamiento.

2.1.1.1 Modo de juego 1

En el modo de juego 1, en adelante MDJ1, el dispositivo más importante es el mando, que dominará sobre el control del juego, siendo el papel de la pantalla otorgar una recompensa al jugador cuando éste acierte.

En cada turno se encenderá uno de los pulsadores del mando, y el sistema quedará a la espera de que el jugador pulse el botón iluminado. En caso de que el jugador pulse cualquier otro botón, no habrá reacción alguna por parte de la pantalla o del mando y el sistema permanecerá tal cual está. Si el jugador pulsa el botón iluminado, se ilumina el color correspondiente a dicho pulsador en la pantalla durante 3 segundos y suena la grabación asociada a ese mismo color, previamente grabada por los cuidadores. Se apaga entonces el pulsador actual del mando y se enciende el siguiente, quedando el sistema nuevamente a la espera.

2.1.1.2 Modo de juego 2

En el modo de juego 2, en adelante MDJ2, adquiere el protagonismo la pantalla. Se encenderá una secuencia de colores que el jugador debe reproducir de manera exacta desde el mando. Cada color se enciende durante 3 segundos, pasado ese tiempo se apagará el color y se enciende el siguiente de la secuencia, así hasta completar la secuencia entera. Después se espera a que el jugador reproduzca la secuencia en el mando. La longitud de la secuencia comienza siendo de 1, e irá aumentando en esa misma cantidad a medida que el jugador complete con éxito la secuencia anterior, así hasta alcanzar una longitud máxima de 6, momento en el cual se reiniciará la longitud de nuevo a 1. Cuando el jugador completa con éxito una secuencia entera, sonarán las notas musicales “La Sol La” como recompensa, pero si el jugador se equivoca en alguno de los colores, sonará un “Do” largo (doble de duración que cada una de las notas de premio) y se reiniciará el juego con la longitud inicial.

2.1.1.3 Modo de funcionamiento

Establece el orden en el que se encenderán los LEDs en el modo de juego seleccionado y puede ser:

- **Aleatorio:** en el modo de funcionamiento (en adelante MDF) aleatorio, la nueva casilla en encenderse se determina de forma aleatoria. En el caso del MDJ2, la nueva casilla que se añade a la secuencia se determinará de forma aleatoria, siendo el resto de la secuencia la misma que el turno anterior.
- **Secuencial:** en el MDF secuencial se encenderán las casillas en orden. En el caso del MDJ2, se añade a la secuencia la casilla siguiente a la última de la

secuencia anterior, siendo el resto de la secuencia la misma que la vez anterior.

2.2 Diseño del panel interactivo

A continuación, en la Figura 9 se presenta un diagrama de bloques con las distintas partes que componen la circuitería de la pantalla, que serán descritas con mayor detalle en los apartados siguientes:

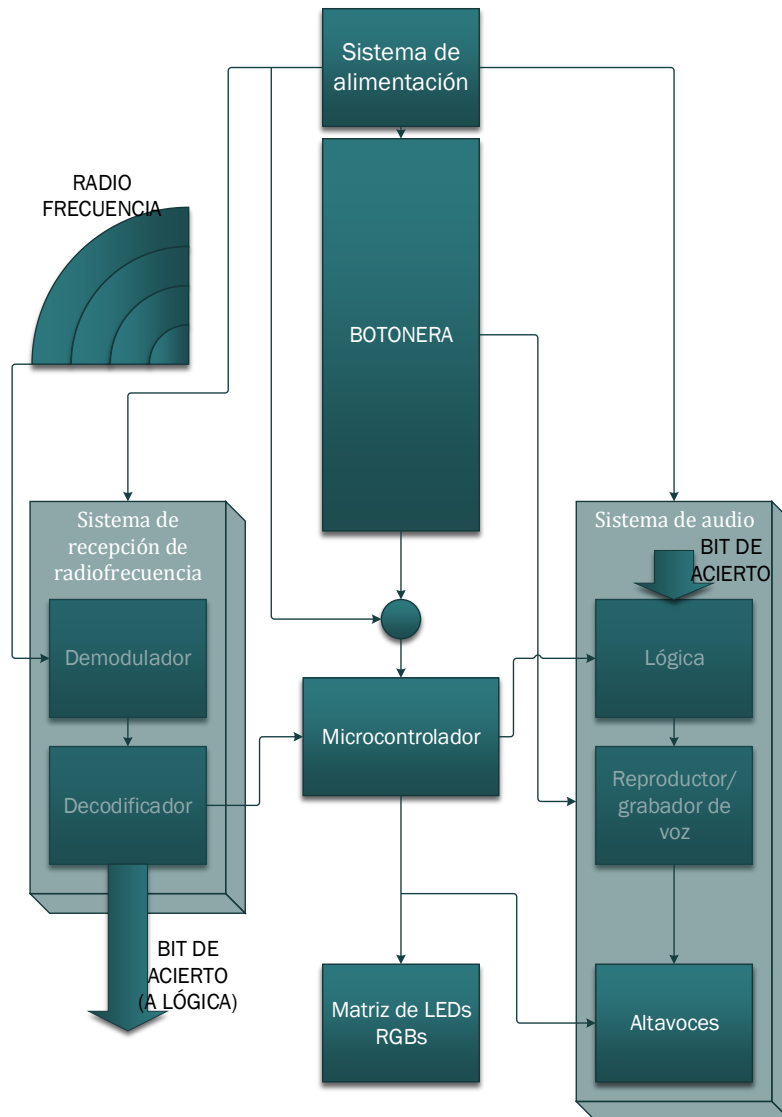


Figura 9. Diagrama de bloques de la pantalla

2.2.1 Mecanizados a realizar

Toda la pantalla ha sido conformada como una única estructura maciza formada por 4 partes: base, bandeja, marco y botonera, construidas con tabloncillos de madera de contrachapado de 5cm de grosor. Su única parte móvil será la botonera, que se puede abrir y cerrar con un juego de bisagras y permite el acceso a la circuitería.

- **Base:** Cada tabla de la Figura 89 (ver [Anexo 2.1](#)) viene con un identificador que permite ver a qué tabla corresponde de la foto de la Figura 90 (ver [Anexo 2.1](#)) que muestra el resultado de la base montada.
- **Bandeja:** Las medidas de las tablas de la bandeja aparecen en la Figura 91 (ver [Anexo 2.2](#)) con sus respectivos identificadores para poder localizarlas en la Figura 92 (ver [Anexo 2.2](#))
- **Marco:** El marco, cuyo plano acotado se muestra en la Figura 93 (ver [Anexo 2.3](#)) está construido en una única pieza. La foto de la Figura 94 (ver [Anexo 2.3](#)) muestra el marco recién cortado, sin lijar y sin pintar.
- **Botonera:** La tabla de la botonera (Figura 95, ver [Anexo 2.4](#)) deberá ser taladrada para poder colocar en ella los componentes que conforman en conjunto la interfaz de usuario para los monitores. En la Figura 10 observamos la botonera con todos esos componentes ya puestos.

2.2.2 Interfaz con usuarios: botonera para los cuidadores y LEDs para los alumnos

2.2.2.1 Botonera para los cuidadores

El diseño de la botonera (Figura 10) ha sido realizado conforme a todos los requerimientos de los cuidadores, que pidieron acceso a las funcionalidades a través de los botones descritos a continuación:

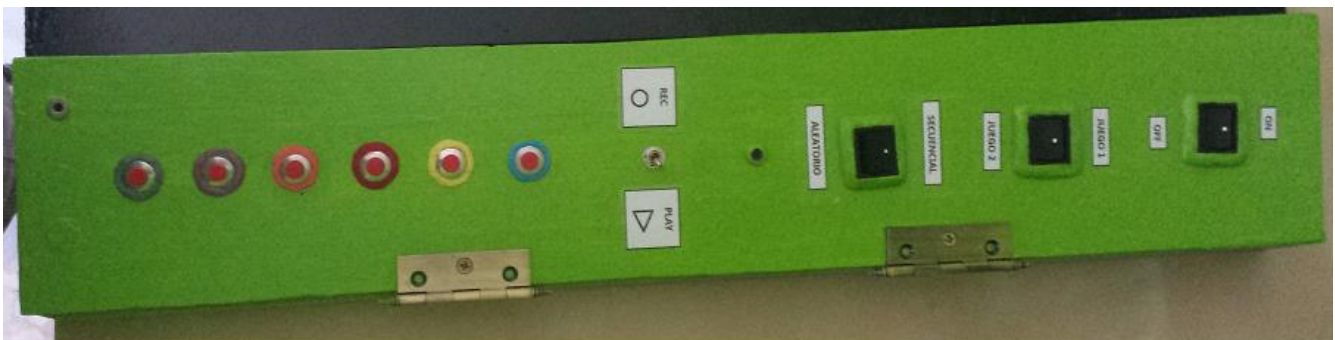


Figura 10. Botonera

- Interruptor de ON/OFF para encender y apagar la pantalla, que irá directamente conectado en serie con el adaptador de corriente.
- Dos interruptores conectados al micro para controlar el estilo de juego. Uno determinará el MDF y otro el MDJ (ya se profundizó acerca de los modos de juego y de funcionamiento que ofrece el sistema, ver [sección 2.1.1](#)). Según su estado, el interruptor de MDJ indica:
 - Abierto: MDJ1

- Cerrado:MDJ2

Según su estado, el interruptor de MDF indica:

- Abierto: MDF secuencial
- Cerrado: MDF aleatorio

- Micrófono: va conectado al reproductor/grabador de voz y será el que permita realizar las distintas grabaciones de voz.
- Interruptor de palanca Rec/Play: permite seleccionar la operación realizada por el reproductor/grabador de voz (*Rec* grabar y *Play* reproducir) al pulsar cada uno de los pulsadores siguientes.
- 6 Pulsadores: cada uno asociado a un color. Permiten realizar una grabación de voz que por cada color correspondiente en el caso de estar la palanca Rec/Play en *Rec*, o probar cómo se oiría la grabación actual en el caso de estar la palanca en *Play* (aunque podemos reproducir el audio al pulsar directamente, esto sólo servirá para cerciorarnos de que las grabaciones están bien hechas. La utilidad real de la grabación se encuentra en su implementación en el MDJ1).
- Salida del audio (conector Jack de 3.5mm), que serán notas musicales en el caso de estar en el MDJ2 y la grabación de voz cada vez que el niño acierta en el caso del MDJ1.

2.2.2.2 LEDs para los alumno

Existen en el mercado LEDs de todos los colores que se precisan en nuestro sistema, ya sea por tener el encapsulado de ese color, o bien con un encapsulado transparente pero logrando el color a través de su emisión característica. Hay otras opciones, como por ejemplo los LEDs RGBs (Figura 11) con encapsulado transparente, que son capaces de transmitir en cualquier color por emisión modulando la potencia cedida a cada patilla del mismo.



Figura 11. DIODO LED 5MM CLEAR RGB 35°

A pesar de aumentar la complejidad a la hora de generar los colores, se ha escogido este tipo de LEDs principalmente por interés didáctico y porque de esta forma permitimos que los colores de las casillas sean reajustables, ya que se puede

modificar el color emitido fácilmente en cualquier momento, aportando un grado más de libertad al juego en el futuro. En total la matriz de LEDs RGBs estará formada por 24 LEDs, 4 por casilla.

Como se observa en la anterior imagen, este tipo de LED tiene 4 patas, una es el ánodo común y las 3 restantes son cátodos, cada uno de ellos asociado a un color diferente (Figura 12).

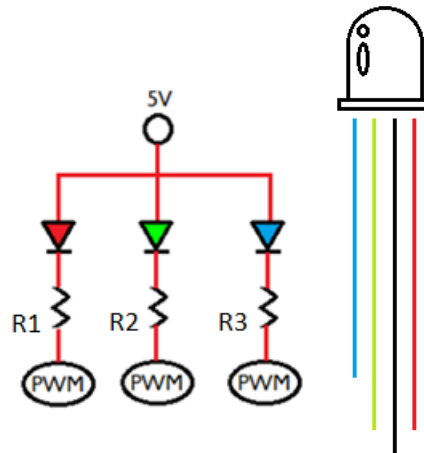


Figura 12. Esquema interno de un LED RGB a la (izquierda) y su patillaje (derecha)

Para lograr el color deseado se mezclan los tres colores primarios, utilizando para ello una PWM por cada uno, que se obtendrán del microcontrolador. Los colores generados son: azul, amarillo, rojo, naranja, violeta y verde.

En verdad, de esos 6 colores los 3 que son mezcla siempre se pueden obtener como mezcla de 2 colores, (Naranja = Verde + Rojo en las proporciones adecuadas, Amarillo = Verde + Rojo en las proporciones adecuadas, Violeta = Azul + Rojo en las proporciones adecuadas), de manera que se pueden obtener todos los colores del juego usando dos señales PWM (ver Tabla 3 en la [sección 2.2.4.3](#)), una para controlar el nivel de rojo, y la otra para controlar el nivel de verde o azul según proceda, ya que estos dos colores nunca se usan de forma simultánea, tal y como se muestra en la Figura 13.

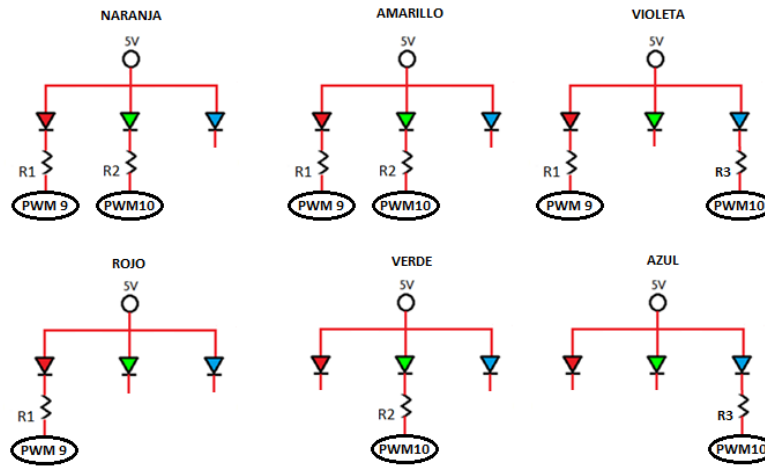


Figura 13. Esquema de la generación de los distintos colores usando un LED RGB y señales PWM

Para el cálculo de las resistencias, se colocan resistencias de 1K en cada cátodo y se alimenta con 5 V en el ánodo y 0 en la PWM (tierra). Midiendo la caída en cada par ánodo/cátodo del RGB puede obtenerse la caída en la resistencia, que será la tensión restante hasta 5V. Teniendo en cuenta que la corriente máxima que aguanta el LED en cada rama es de 20 mA [7], se considerará esta corriente en el caso de máxima potencia para no quemarlo, es decir, cuando PWM = 0 en todo el periodo.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$V_{\text{rojo}} = 2.25V \rightarrow V_{R1} = 2.75V \rightarrow R_1 = 137.5\Omega$$

$$V_{\text{verde}} = 2.64V \rightarrow V_{R2} = 2.36V \rightarrow R_2 = 118\Omega$$

$$V_{\text{azul}} = 2.66V \rightarrow V_{R3} = 2.34V \rightarrow R_3 = 117\Omega$$

Escogiendo valores comerciales cercanos: $R_1 = 150\Omega$ $R_2 = 120\Omega$ $R_3 = 120\Omega$

Se estimaron 2 resistencias por cada uno de los LEDs que generas uno de los colores mezcla, y una resistencia para los que generan un color monocromo (el resto de ramas pueden quedar en circuito abierto, pues no circulará corriente a través de ellas) lo que resultaba en un total de:

- Colores mezcla: 2 resistencias por LED x 4 LEDs por color x 3 colores mezcla = 24 resistencias
- Colores monocromo: 1 resistencia por LED x 4 LEDs por color x 3 colores monocromo = 12 resistencias

Por tanto se necesitarían un total de 36 resistencias. No obstante y en aras de reducir la complejidad de cableado y conexionado, tras una primera optimización,

conectando los 4 LEDs de una misma casilla directamente en paralelo, se redujo el total de la siguiente forma:

- Colores mezcla: 2 resistencias por cada paralelo x 3 colores mezcla = 6 resistencias
- Colores monocromo: 1 resistencia por cada paralelo x 3 colores monocromo = 3 resistencias

Un total de 9 resistencias.

Este cambio implica que en cada rama la corriente se dividirá entre 4, con lo que se debe dividir también la resistencia entre 4 para contrarrestar esa reducción, quedando así los valores:

- para la rama azul y verde $R=27\Omega$
- para la roja $R = 39\Omega$.

El circuito para generar un color monocromo quedaría de la forma descrita en la Figura 14, mientras que para las casillas de colores de mezcla el circuito se duplicaría, uno por cada uno de los colores a mezclar.

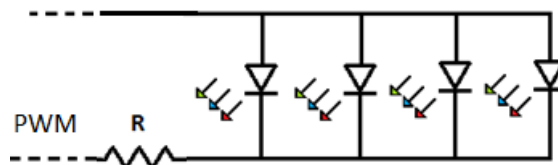


Figura 14. Conexión de cada rama

Optimizando aún más el sistema, dado que en cada momento sólo lucirá una de las casillas, se puede reducir el número total de resistencias a 2 para toda la matriz de LEDs, una conectada a la PWM9 del microcontrolador (rojo), y otra conectada a la PWM10 del micro (verde y azul). El resultado se muestra en la Figura 15.

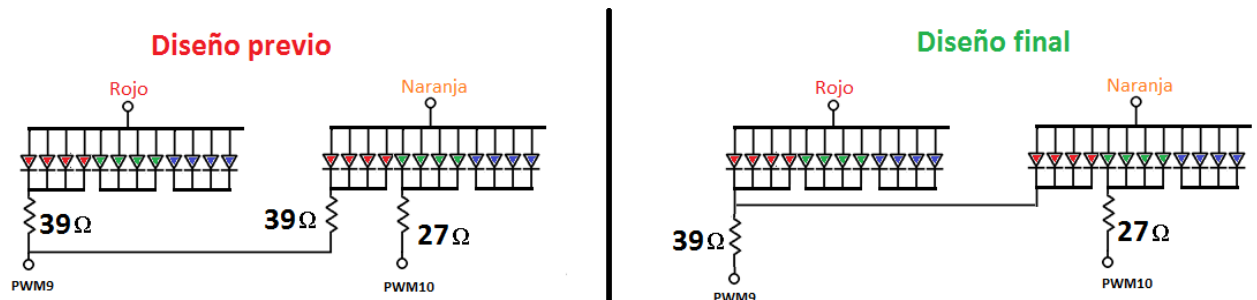


Figura 15. Optimización del uso de las resistencias

2.2.3 Sistema de recepción de radiofrecuencia

Para una primera toma de contacto con la circuitería de la placa de soldadura, se procede a la explicación de los bloques encargados de recibir la señal proveniente del mando, que será al fin y al cabo lo que determinará la forma de actuar de nuestra pantalla.

La finalidad de estos bloques será convertir la señal proveniente del mando en un dato binario formado por 4 bits que, tras ser debidamente procesado por el microcontrolador y la lógica posterior, dará lugar a una determinada respuesta por parte de la matriz de LEDs y de los altavoces. Con este fin, se utilizan los siguientes integrados:

AM-HRR3-433 (Demodulador) y RF600D (Decodificador) ambos de R.F Solutions.

El RF600D servirá para decodificar la información recibida, y el módulo AM-HRR3-433 permitirá la recepción de la señal, tal y como se detalla a continuación.

2.2.3.1 Demodulador

El AM-HRR-433 se trata de un módulo que permite la recepción de señales moduladas en amplitud con una frecuencia de la señal portadora de 433.9MHz (no requiere licencia de radio para operar). Se puede utilizar para captura de datos codificados y es totalmente compatible con transmisores AM de R.F. Solutions (como por ejemplo el AM-RT4, utilizado en el mando [1]).

El módulo se muestra en la Figura 16:

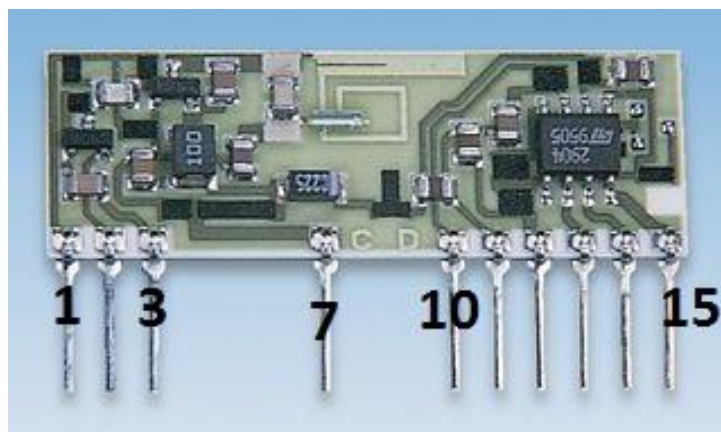


Figura 16. AM-HRR3-433 [8]

Sus componentes principales son:

- Antena: cuya finalidad será captar la información. Consiste en un cable rígido cuya longitud se obtiene como sigue:

$$\lambda = \frac{c}{f_p} = \frac{300000000 \text{ m/s}}{433,9\text{MHz}} = 0,69\text{m} \rightarrow l = \frac{\lambda}{4} = \frac{0,69\text{m}}{4} = 17,3\text{cm}$$

c= Velocidad de la luz.

l= Longitud de la antena.

f_p= Frecuencia de la portadora.
portadora

λ= Longitud de onda de la

- Preamplificador de radiofrecuencia: para amplificar la información recibida (que se habrá atenuado al viajar por el aire).
- Oscilador: para fijar la frecuencia de la portadora con la que sintonizamos (en este caso los 433.9MHz).
- Filtro paso bajo: para eliminar la portadora y quedarnos solamente con la información deseada.
- A la salida lleva un comparador: permite tener una salida sólo con dos niveles, ofreciendo de esta forma compatibilidad con datos binarios CMOS y TTL.

La información capturada por este dispositivo es aquella que procede del mando y consiste en un dato codificado en binario y modulado en amplitud. Este dato binario contiene la información sobre qué botón del mando se ha pulsado.

Detalles mecánicos y descripción de pines:

Tabla 2. Pinout del AM-HRR3-433 (hoja de características AM-HRR3-433)

1	RF +Vcc	9	NC
2	RF GND	10	AF +Vcc
3	IN	11	AF GND
4	NC	12	AF +Vcc
5	NC	13	Test Point
6	NC	14	OUT
7	RF GND	15	+Vcc
8	NC		

Tabla 3. Características Eléctricas

CHARACTERISTICS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{RF} RF Supply Voltage	4.5	5	5.5	VDC
V_{AF} AF Supply Voltage	4.5	5	5.5	VDC
I_s Supply Current		2.5	3	mA
F_W Working Frequency	200		450	MHz
Tuning Tolerance (*)		±0.2	±0.5	MHz
Time from power on to Valid Output Signal		1200		mS
R.F Sensitivity 100% AM	-100	-105		dBm

(**)				
B_W -3dB Bandwidth		± 1.5	± 2	MHz
Data Rate	50		2000	Hz
High Level Output Voltage	4.5			V

(*)Tuning Tolerance (tolerancia de sintonización): Máxima variación en la frecuencia que podemos tener respecto a la frecuencia indicada por el fabricante.

(**)R.F Sensitivity (sensibilidad de recepción): indica cómo una señal de RF débil puede ser recibida correctamente por el receptor. Caracteriza cuantitativamente la potencia de una señal tomando como referencia una potencia de 1mW. Con -105dBm:

$$-105 \text{ dBm} = 10 * \log\left(\frac{P(W)}{1mW}\right)$$

$$P(W) = 3.1623 * 10^{-14} W$$

Es decir, el receptor puede captar señales de esa potencia.

El AM-HRR-433 envía la información binaria capturada al decodificador RF600D, que recibe la información en serie (bit a bit).

El uso de este dispositivo fue claro desde el comienzo del desarrollo del proyecto debido a experiencias anteriores con él en otros proyectos de la carrera. Es fácil de encontrar en cualquier página distribuidora de componentes y ofrece una solución rápida y muy sencilla para comunicaciones por RF de señales digitales.

2.2.3.2 Decodificador

El decodificador RF600D recibe la señal demodulada, recuperando la información transmitida desde el mando. Para saber que la información a decodificar es la recibida por su mando y no la recibida por cualquier otra fuente emisora cercana, se debe realizar un proceso de aprendizaje mediante el cual el decodificador conocerá al codificador desde el que se va a transmitir. Cuando el decodificador reciba información, la procesará solamente cuando sea transmitida desde un origen conocido.

El RF600D está capacitado para conocer hasta 7 fuentes diferentes de forma simultánea, en cuyo caso procesará la información siempre que provenga de cualquiera de esos 7 emisores. La identificación de los transmisores se almacena en una memoria EEPROM. Al no ser esta memoria volátil, la información almacenada permanece aun cuando apaguemos el sistema, como un disco duro de ordenador. Ampliando esta memoria con dispositivos de memoria EEPROM externa el decodificador podría llegar a reconocer hasta 48 fuentes distintas.

Cada codificador o fuente emisora que memoricemos permite transmitir 4 bits. Por ser suficiente con 4 bits para cubrir las necesidades del proyecto, se utiliza una

única fuente emisora, es decir, será necesario almacenar solamente una identificación en la EEPROM. La Figura 17 presenta la descripción de pines del dispositivo:

Pin Descriptions

Pin Number	Name	Input / Output?	Description
1	OP3	Out	Data Output 3 (S2)
2	OP4	Out	Data Output 4 (S3)
3	LB	Out	Low Battery, goes Low when Low Battery Valid
4	Vcc	In	Positive supply voltage connection
5	Vss	In	Connect to GND
6	ECS	Out	Connects to EEPROM 'CS' pin
7	ECLK	Out	Connects to EEPROM 'CLK' pin. Also sets data mark.
8	EDAT	In / Out	Connects to EEPROM 'Data' pin
9	IN	In	RF / IR Data input
10	LRN	In	Learn / Erase Switch Input & Status LED Drive
11	SD1	Out	Serial Data output
12	LKIN	In	Option Link Input for Momentary or Latched outputs
13	SLEEP	In	High = Run, Low = Sleep Mode
14	Vcc	In	Positive supply voltage connection
15	Unused	N/A	No Connection
16	Unused	N/A	No Connection
17	OP1	Out	Data Output 1 (S0)
18	OP2	Out	Data Output 2 (S1)

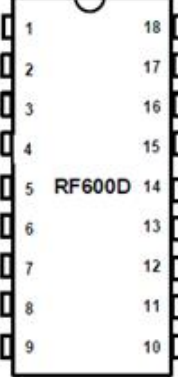


Figura 17. Descripción de pines del RF600D (de la hoja de características RF600D)

Existen dos alternativas a la hora de tomar los datos decodificados por el dispositivo, por la salida serie SD1 o por las salidas individuales OP1 a OP4.

- Salida serie SD1 (pin11):** por donde se puede tomar toda la información recibida en una misma cadena de caracteres ASCII a una velocidad de 9.6 Kbaudios. Esta salida se activará siempre que se reciba un paquete válido. Entre cada cadena serie habrá un espacio mínimo de 150 milisegundos. Se envían 10 caracteres en total con el formato de la Figura 18:

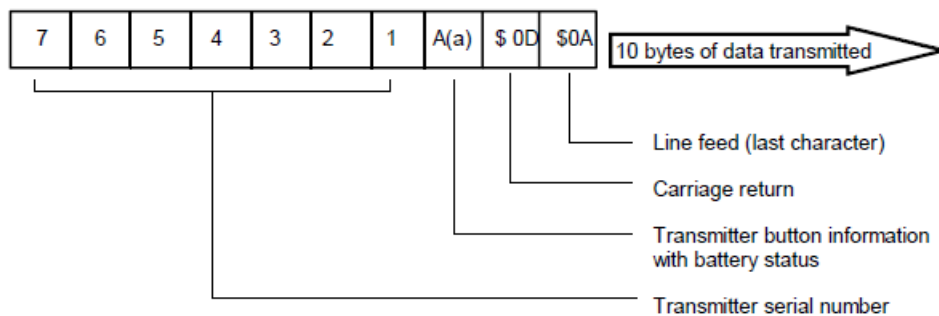


Figura 18. Salida del pin SD1 (de la hoja de características RF600D)

- **Transmitter serial number:** formado por 7 caracteres ASCII del siguiente grupo: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F. El dígito más significativo se envía en primer lugar.
- **Bits de datos:** los bits restantes son bits de datos que dan información sobre el botón que se pulsó en el codificador y el estado de la batería. Al introducir los datos en las entradas S0, S1, S2 y S3 del codificador (Figura 19) que se encuentra en el mando, se activan los bits D0, D1, D2 y D3 (Carriage return en la Figura 18) lo que hará

que se transmita un carácter en el rango A a O. El byte que contiene información sobre el estado de la batería del transmisor (Transmitter button information with battery status) determinará si dicho rango es de mayúsculas (A a O) en caso de batería alta en el mando, o en minúsculas (a a o) en caso de batería baja.

La transmisión no contiene ningún bit de paridad, y toda la información se envía encryptada con un protocolo de seguridad denominado KeeLoq.

A modo de ejemplos de funcionamiento se incluyen los siguientes casos y la información generada en cada uno de ellos:

Apretando S1 en el Encoder del mando (Figura 19):
2345678A (o 2345678a en caso de batería baja)

Apretando S2 en el Encoder del mando (Figura 19):
2345678B (o 2345678b en caso de batería baja)

Apretando S1 y S2 simultáneamente en el -Encoder del mando (Figura 19):
2345678C (o 2345678c en caso de batería baja)

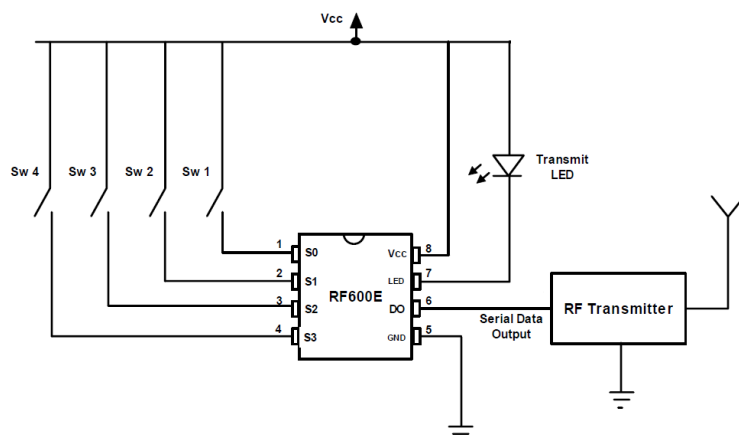


Figura 19. Codificador (RF600E) del mando y modulador. Bloque de transmisión por RF desde el mando [1]

2- Salidas OP1, OP2, OP3, OP4 (pines 17, 18, 1 y 2 respectivamente): que permiten tomar la información de cada bit de forma individual. Las salidas tomarán directamente los datos de S0, S1, S2 y S3, es decir, OP1, OP2, OP3, OP4 serán directamente un espejo de las entradas del codificador, con una salvedad; se activan a nivel bajo. Esto quiere decir que cuando por ejemplo S0 valga 1, OP1 valdrá 0 y viceversa. Para que todo resulte menos confuso al implementar se dará la vuelta a esos valores posteriormente en el microcontrolador, de manera que cuando en el mando se tenga un 1 este se tratará como un 1 a pesar de ser un 0 en el decodificador.

Se ha optado por la segunda opción, ya que resultaba mucho más sencillo a la hora de programar poder tratar cada bit de forma individual principalmente porque da un reflejo claro y directo de qué botón se ha pulsado.

La función del resto de pines se puede ver claramente en la Figura 17. No obstante, conviene realizar ciertas aclaraciones:

ECLK AM/RF Selection (pin 7): La salida ECLK para la EEPROM es también utilizada para seleccionar el tipo de transmisión que usaremos en nuestro sistema. En ausencia de EEPROM externa, la línea ECLK se convierte en una entrada que detecta si existe una resistencia de pull-down o una de pull-up.

- Con una de pull-down el RF600D está configurado para recibir datos en AM.
- Con una de pull-up el RF600D está configurado para recibir datos en FM o IR.

LRN: Entrada que pone al módulo en “Learn mode” (explicado más abajo) y permite también borrar la información almacenada.

LKIN: Entrada de alta impedancia que sirve para configurar las salidas en acción “Momentary” o “Latching” (Figura 20).

LKIN Status	Digital Outputs Function
High	Latching
Low	Momentary

Figura 20. Configuración de la función de las salidas del RF600D (de la hoja de características RF600D)

- **Momentary:** Salida activada mientras dure la transmisión de señal válida (es decir, la salida se activa mientras se pulse en el mando y se desactiva cuando se deje de pulsar).
- **Latching:** Salida activada permanentemente hasta próxima pulsación (es decir, se activa al pulsar y al dejar de pulsar permanece activada. Se desactiva al pulsar de nuevo).

El modo “Momentary” resulta más útil para este sistema ya que se precisa que el estado de las salidas del decodificador varíe en cada momento con el estado de las entradas del codificador en el mando.

El esquema final de todo el receptor de RF se muestra en la Figura 96 (ver [Anexo 3.1](#)).

La secuencia de aprendizaje (pin LRN) es la siguiente:

1. Se pulsa brevemente y se suelta el botón “learn”.
2. Se iluminará el led de estado mientras se pulsa y permanecerá al soltar.
3. Al transmitir una primera vez con el codificador, el led se apagará.
4. La segunda vez, parpadea el led.
5. Una vez pare de parpadear el decodificador habrá reconocido al codificador.

Para borrar la información almacenada simplemente se debe mantener pulsado el “learn” durante 8 segundos.

2.2.3.3 Alternativa de diseño para el decodificador del sistema de recepción por RF

Otra opción para el par codificador y decodificador habría sido el integrado MC145026 y el MC145027 (Figura 21, ambos de Motorola), conocidos por experiencia de proyectos anteriores en las asignaturas de Grado. En este caso, el codificador permite codificar 9 líneas de información (9 bits) que pueden detectar hasta datos trinarios.

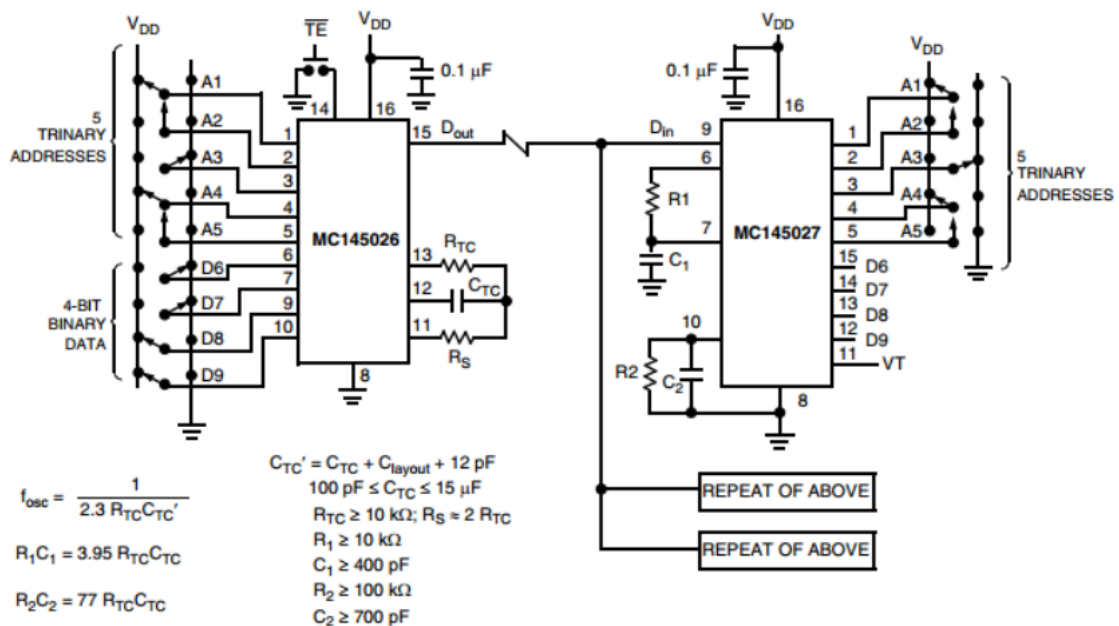


Figura 21. Esquema interno de MC145026 y MC145027 (hoja de características del MC145026 y MC145027)

En este caso, como se puede observar en la Figura 21, se envían 9 bits, de los cuales A1 a A5 son los bits de dirección y D6 a D9 los de datos. Es necesario que tanto en el encoder como en el decoder los bits de dirección se fijen con los mismos valores, pues son estos bits los que permitirán al receptor distinguir a qué fuente debe hacer caso, es decir, sólo se procesará la información entrante si procede de un encoder con los mismos bits de dirección que el decoder. D6 a D9 harían las veces de OP1 a OP4 en el decodificador que hemos seleccionado finalmente. En este caso además se debe

fijar la frecuencia a la que emite la información el codificador, que será la misma que se debe fijar en el decodificador para que se pueda establecer la comunicación. Todos los componentes externos que habrían sido necesarios en este caso (resistencias y condensadores) se pueden calcular como se muestra en la Figura 21, teniendo en cuenta que f_{osc} se fija según convenga, tomando como criterio que sea igual en el codificador y en el decodificador y que no supere los 4kHz por limitaciones del sistema.

Se descarta esta opción porque, a pesar de cubrir las necesidades del sistema de una forma mucho más sencilla, la pareja de integrados estaba descatalogada en todas las distribuidoras de componentes electrónicos.

2.2.4 Microcontrolador

2.2.4.1 El ATmega 328P-PU

Si hay algún dispositivo que se pueda considerar el eje central del sistema éste es sin duda alguna el microcontrolador, que recibe todas las señales provenientes del decodificador y de la botonera y en función de dichas señales define: cómo funciona el juego según el modo seleccionado, cuál es el modo seleccionado y qué luz debe encenderse y qué sonido debe escucharse dependiendo de lo que haga el jugador. Para lograr este funcionamiento es necesario programar el microcontrolador, de manera que todas las señales del sistema serán procesadas según indica el programa, escrito en C combinado con sentencias propias de ARDUINO [9]. En la [sección 3.1](#) de esta misma memoria se encuentra un flujograma del programa, y en los anexos se incluye directamente su código.

El modelo seleccionado es el ATMEGA328P-PU del fabricante Atmel por ser compatible y reemplazable por el de la placa ARDUINO, de la que se dispone de inicio en el TFG y que servirá para programarlo, y por llevar incorporado el Bootloader, un software que prepara al microprocesador para poder ser programado; de haber escogido el ATMEGA328-PU no estaría incorporado el Bootloader y sería necesario volcar dicho software en el microcontrolador antes de poder cargar en él ningún programa, con lo que se escoge el ATMEGA328P-PU para poder ahorrarnos ese paso. Sus principales características son:

- 32KB de memoria flash para programación,
- Tamaño de datos RAM: 2kB,
- Interfaz: 2-wire, SPI, USART,
- Velocidad: 20MHz,
- Puertos de entrada/salida programables: 23,
- Temporizadores: 3,
- Canales de ADC: 6 canales de 10 bits,
- Empaquetado: PDIP-28.

Como se puede observar en la Figura 22, tiene 14 I/Os digitales, de las cuales TX y RX no se pueden utilizar directamente como I/Os digitales normales (de hecho, tratando de usarlas durante el TFG, se produjo un error que obligó a reinstalar todo el programa) con lo que se dispone de 12 patas digitales útiles, de las cuales 6 pueden funcionar como salidas PWM de 8 bits (admite 256 niveles de potencia cedida, correspondiendo 0 a mínima potencia y 255 a máxima potencia).

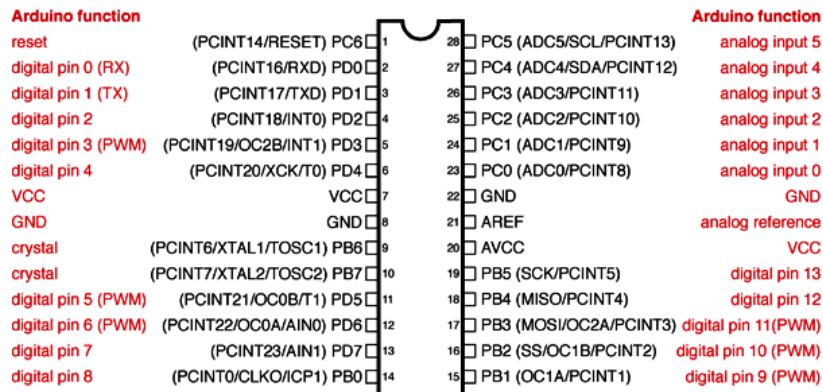


Figura 22. Pinout del microcontrolador ATmega 328P-PU [10]

2.2.4.2 Montaje para transferir programa

Hay dos formas de introducir el programa escrito dentro del micro: o bien poniendo otra vez el micro en la placa cada vez que se quiera volcar un programa, o bien con el siguiente procedimiento:

Se le pasa el programa por el puerto serie (TX/RX) con el montaje de la Figura 23.

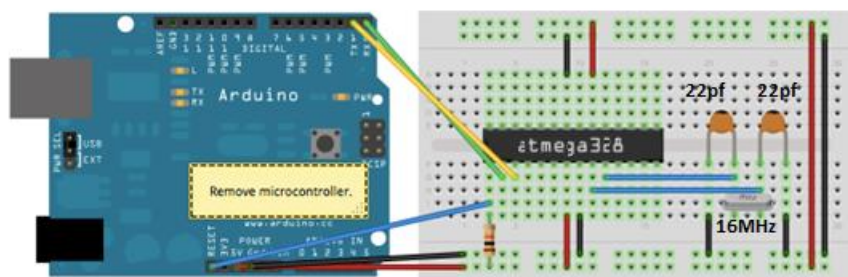


Figura 23. . Montaje para usar ARDUINO para programar el ATMEGA32. [11]

La resistencia que aparece conectada en la patilla 1 es la correspondiente a la entrada de reset, que se activa a nivel bajo. En verdad, mientras se carga el programa la resistencia de reset debe estar conectada a tierra, y se conecta a alimentación una vez se ha cargado.

Una vez cargado el programa, se puede desconectar el micro de la placa (alimentándolo independientemente). Esto convierte el sistema en mucho más portable.

2.2.4.3 Nuestro montaje

La Tabla 4 muestra para qué se ha usado cada pin del micro.

Tabla 4. Pines usados del microcontrolador

USO	PINES USADOS	NOMBRE	OBSERVACIONES
ACTIVACIÓN DE COLORES	15 y 16	D9,D10 (PWM)	D9=ROJO D10=AZUL/VERDE
ÁNODOS	4,5,6,11,12,13	D2-D7 (mix)	Usamos PWM como digital (0 ó 255)=(0 ó 5)
PULSADORES	14,18,19	D8,D12,D13	Entradas
ACIERTO MDJ 1	25	A2	Entrada analógica
SELECTOR JUEGO	23	A0	Como digit. (0,1024)
SELECTOR FUNCIONAMIENTO	24	A1	"
SONIDO	17	D11 (PWM)	

- **Activación de Colores:** D9 va al cátodo de rojo y el D10 al de azul o al de verde según cuál sea el utilizado en cada color. Debe recordarse que estos dos colores nunca coincidirán. (leer 2.2.2.2 para más información)
- **Ánodos:** Cada uno de estos pines va conectado al Ánodo de 4 LEDs, es decir, a los LEDs que corresponden a un mismo color. 3 son digitales y los otros 3 transmiten PWM usadas solo con su valor máximo y mínimo, imitando a una salida digital normal.

Tabla 5. Salidas del microcontrolador correspondientes a Ánodos

SALIDA ARDUINO	COLOR
D2	Azul
D3	Amarillo
D4	Rojo
D5	Naranja
D6	Violeta
D7	Verde

- **Pulsadores:** Llamados así por contener la información proveniente de los pulsadores del mando. En la siguiente tabla se observa una correspondencia entre el codificador del mando, el decodificador de la pantalla y el microcontrolador:

Tabla 6. Correspondencia de pines

(Nº PIN) ENCODER	(Nº PIN) DECODER	(Nº PIN) ARDUINO
(1) S0	(17) OP1	(14) D8
(2) S1	(18) OP2	(18) D12
(3) S2	(1) OP3	(19) D13
(4) S3	(2) OP 4	A2 (bit acierto mdj1)

Es decir, si se pulsa el botón 1 del mando, esto provoca que se active el pin 17 del decodificador, información que será enviada al pin 14 del micro.

- **Acierto MDJ1:** Informa al micro de que el niño ha acertado el color en el MDJ1 para así poder activar la recompensa por haber acertado.
- **Selector MDJ:** Entrada analógica con un interruptor.
 - o Abierto: MDJ1.
 - o Cerrado:MDJ2.
- **Selector MDF:** Entrada analógica con un interruptor.
 - o Abierto: MDF secuencial
 - o Cerrado: MDF aleatorio
- **Sonido:** Salida PWM que genera notas musicales para el sonido del MDJ2. Los sonidos serán:
 - o Caso de acierto: La Sol La
 - o Caso de fallo: Do largo (doble de duración que cada una de las notas de acierto).

Se debe aclarar que esas notas musicales son las que se usaron para realizar pruebas, pero se modificaran en el momento de entrega al colegio por otras más adecuadas.

Se utiliza la sentencia Tone() de ARDUINO, en cuyos parámetros debe especificarse la nota por el sistema de cifrado inglés (la escala natural de C5 a A5 [12]) dando su frecuencia, y la duración de la nota. Esta sentencia genera una onda cuadrada de la frecuencia especificada con un ciclo de trabajo (DC) de 50%.

El siguiente video muestra las primeras pruebas del audio generado por el microcontrolador, realizadas con un speaker:

<https://www.youtube.com/watch?v=DnGrENqgOBQ&feature=youtu.be>

Todo el montaje anteriormente descrito queda reflejado en la Figura 97 (ver [Anexo 3.2](#))

2.2.4.4 Alternativa al ATmega: el microcontrolador 8051

La alternativa a Arduino más factible en el TFG era usar un microcontrolador 8051. Permitía cubrir las necesidades del sistema, pero tenía una gran desventaja frente a la placa ARDUINO, que era la necesidad de disponer de un programmer, una placa que permite conectar el IC al ordenador para traspasar el programa (Figura 24).



Figura 24. Programador LabTool-48

Aunque se disponía de un programmer en el laboratorio, en concreto el programador universal **LabTool-48UXP**, en caso de querer hacer futuras reprogramaciones para, por ejemplo, cambiar los colores o algún funcionamiento de los modos, sería necesario trasladar el microcontrolador hasta la Universidad, o disponer de dicho programador, que ronda los 350€ (precio variable según distribuidora).

Con el ATmega 328P-PU esta necesidad queda cubierta gracias a la propia placa ARDUINO, que hace directamente de programador, y tiene un coste de 21€ microcontrolador inclusive. Además, es un sistema cuyo uso está en pleno apogeo, lo que da una mayor seguridad de que se podrá conseguir recambio en caso de estropearse el micro, y el sistema será fácilmente adaptable a las futuras evoluciones que haga esta tecnología.

2.2.5 Sistema de audio

2.2.5.1 Reproductor/grabador de voz

La pantalla tiene dos tipos de sonidos diferentes: uno producido por el microcontrolador, como ya vimos en el apartado anterior, que será el audio asociado al MDJ2, y otro producido por el dispositivo reproductor/grabador de voz, el integrado ISD1916 de Nuvoton (Figura 25), que reproduce el audio asociado al MDJ1.



Figura 25. ISD1916 con encapsulado SOIC(28)

Fue difícil encontrar una distribuidora española que pudiera proporcionar este dispositivo, hasta que se dio con Equin S.A., que no obstante vende los dispositivos al por mayor. Tras ponerse en contacto con ellos, los autores de estos TFG recibieron 3 dispositivos de muestra totalmente gratis, con el fin de colaborar altruistamente con el proyecto, por el tipo de usuario al que va dirigido.

EL ISD1916 es un dispositivo reproductor/grabador con capacidad para múltiples mensajes, cuya duración total permitida va de los 10,6 a los 32 segundos. A mayor frecuencia de muestreo, mayor calidad y por lo tanto menor duración permitida en la grabación. La frecuencia de muestreo se fija a través de una resistencia externa a la que llamaremos Rosc (ver Tabla 7).

Tabla 7. Frecuencia de muestreo según Rosc

Frecuencia de muestreo	12kHz	8kHz	6,4kHz	5,3kHz	4kHz
Rosc	53,3kΩ	80kΩ	100kΩ	120kΩ	160kΩ
Grabación total	10,6s	16s	20s	24s	32s

No se requiere mucha duración, pues se graban palabras cortas, pero sí se requiere buena calidad para que el sonido pueda ser claramente distinguido por los niños. Por ello se escoge una resistencia de 56 kΩ.

La grabación es almacenada en una memoria interna, de la cual en el datasheet no se especifica nada, con lo que no se pueden dar datos de la misma, pero se puede decir que gracias a esa memoria no es necesario ningún dispositivo de almacenamiento externo, y que es no volátil, pues se comprueba que la información permanece aunque liberemos al circuito de la alimentación.

La Figura 26 muestra la configuración de pines del dispositivo.

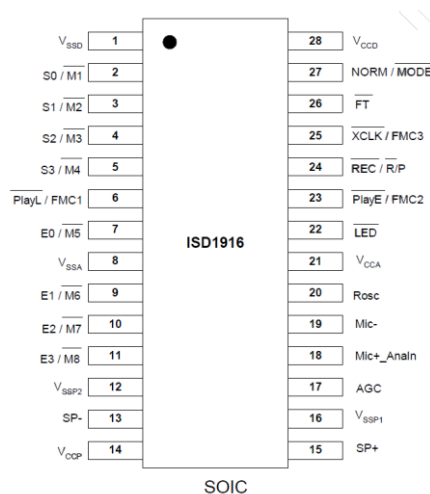


Figura 26. Configuración de pines (de la hoja de características del ISD1916)

Tiene dos modos de funcionamiento: address trigger y direct trigger.

- **Address trigger (NORM (pin 27)):** permite grabar un único mensaje pero permite especificar la duración exacta de la grabación, indicando la dirección de inicio S0, S1, S2 y S3 (pines 2, 3,4 y 5 respectivamente) y la dirección final E0, E1, E2 y E3 (pines 7,9,10 y 11 respectivamente).
- **Direct trigger (MODE (pin 27 negado)):** en este caso se pueden grabar de 1 a 8 mensajes, sin embargo, la duración de la grabación viene fijada en función del número de divisiones, sin posibilidad de cambiar ninguna. La cantidad de divisiones a realizar en la memoria se elige con FMC1, FMC2 y FMC3 (pines 6, 23 y 25) como se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8. División de la memoria interna del ISD1916

FMC3	FMC2	FMC1	# of fixed messages
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	3
0	1	1	4
1	0	0	5
1	0	1	6
1	1	0	7
1	1	1	8

Los pines de control son de **/M1** a **/M8** (pines 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10 y 11) que son los pines de activación de mensaje, activados a nivel bajo. Cada uno sirve para acceder a una de las divisiones realizadas. **/R/P** (pin 24) determina si los pines de control servirán para grabar en esa división, o para reproducir la grabación que contenga actualmente (al grabar un mensaje nuevo se borra de forma automática el anterior). Con un 0 lógico (0V) la operación será de grabación, y con un 1 lógico (5V) la operación será de reproducción.

Si por ejemplo se tienen 6 divisiones, **/M7** y **/M8** pueden dejarse sin conectar, ya que no tendrán ninguna función.

En este caso se usa el modo Direct trigger puesto que en éste, como acabamos de ver, el dispositivo permite grabar varios mensaje y el funcionamiento buscado exige una grabación independiente por casilla.

Las entradas Mic+_Analn (pin 18) y Mic- (pin 19), disponen de un amplificador con control activo de ganancia o AGC, un amplificador que utiliza la señal de salida para ajustar su ganancia, permitiendo trabajar con un mayor rango de entradas. A

estas entradas irá conectado el micrófono diferencial PRO SIGNAL - ABM-713-RC - MICRÓFONO ELECTRET (Figura 27), elegido por las siguientes razones:

- Por su reducido tamaño, para no romper con la estética de la pantalla
- Por su respuesta en frecuencia de 50Hz a 16kHz, ideal para las grabaciones de voz
- Por ser omnidireccional [13], es decir, captar el sonido de igual manera desde cualquier ángulo, importante si se quiere dar libertad al colegio a la hora de colgar la pantalla sin necesidad de llegar a poner la boca justo delante del micrófono

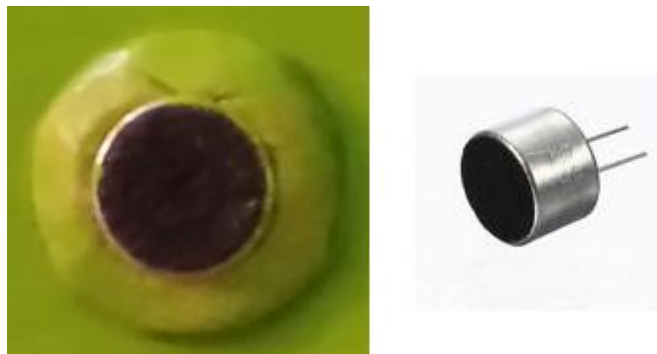


Figura 27. Micrófono. A la izquierda el micrófono incrustado en la botonera, a la derecha el componente completo

El LED, conectado al pin 22, luce mientras se está realizando una grabación y siempre que finaliza una reproducción.

Las salidas SP+ y SP- se pueden utilizar para conectar directamente un speaker de 8Ω . En el caso de conectar un Jack, como en la pantalla, éste irá a la salida SP+, conectándose la salida SP- a tierra. El Jack de 3.5 mm (Figura 28) permite enchufar los altavoces por donde saldrá el audio. Esta salida viene amplificada por un amplificador de audio interno, que da una potencia de salida de 670mW.



Figura 28. Jack de 3.5 mm

El montaje realizado es el de la Figura 98 (ver [Anexo 3.3](#))

/M1 a /M6 irían conectados a los pulsadores, que se usan para grabar el mensaje correspondiente a cada casilla y para probar la grabación. Esto se muestra en la Figura 98 (ver [Anexo 3.3](#)).

Además, a este montaje hay que añadir las señales provenientes del microcontrolador. Se planteó la posibilidad de activar la salida de audio del ISD conectando directamente el ánodo de cada casilla con la dirección de memoria (la M) correspondiente en el dispositivo reproductor/grabador. El problema que tiene realizar este montaje de forma directa, es que se activará la reproducción tanto en el MDJ1 como en el MDJ2, cuando la voz sólo debería escucharse en el MDJ1.

Para solventar este problema se aprovecha el bit de acierto (que indica acierto únicamente en el MDJ1). Éste se pone a 1 en el mando cuando se acierta (recordar que esto significa que a la pantalla realmente llegará un 0, como se explica en el apartado del decodificador en [sección 2.2.3.2](#)), lo cual se establece como condición indispensable para que se reproduzcan las grabaciones almacenadas en cada dirección del ISD. Para que pueda aprovecharse este bit de modo que active la reproducción en el caso deseado, debemos desarrollar un circuito lógico, descrito a continuación

2.2.5.2 Lógica del audio

Como se ha comentado previamente se necesita un circuito lógico que tendrá por entradas las mismas señales que van a los ánodos de los RGBs y el bit de acierto del MDJ1, de manera que suene la grabación de voz cada vez que el jugador acierte y se encuentre en el MDJ1.

Puesto que en cada momento la salida depende únicamente de las entradas y no del estado anterior, montaremos el circuito con lógica combinatorial. En la obtención de la tabla de verdad, se debe tener en cuenta que las entradas de control del ISD1916 se activan a nivel bajo. La tabla de verdad resumida del circuito a desarrollar es la Tabla 9:

Tabla 9. Tabla de verdad de la lógica a diseñar

BA	D7	D6	D5	D4	D3	D2	M1	M2	M3	M4	M5	M6
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0

En el resto de la tabla el resultado sería siempre todo unos.

La señal BA representa el bit de acierto, y se recoge directamente de la patilla OP4 del decodificador, mientras que D2 a D7 son las señales provenientes del microcontrolador que se usan para activar los ánodos de los LEDs. Estas mismas señales que se usaban para los LEDs se reciclan en el audio, puesto que el encendido de cada casilla y la reproducción de su audio en el MDJ1 se debe producir de forma simultánea.

Las funciones lógicas que se obtienen son:

$$M1 = BA + D7 + D6 + D5 + D4 + D3 + /D2$$

$$M2 = BA + D7 + D6 + D5 + D4 + /D3 + D2$$

$$M3 = BA + D7 + D6 + D5 + /D4 + D3 + D2$$

$$M4 = BA + D7 + D6 + /D5 + D4 + D3 + D2$$

$$M5 = BA + D7 + /D6 + D5 + D4 + D3 + D2$$

$$M6 = BA + /D7 + D6 + D5 + D4 + D3 + D2$$

Una vez determinadas las ecuaciones, se procede a estudiar la mejor manera de implementarlas en el circuito.

Solución 1: Lógica Programable: PAL, PLA, GAL. (Fuente de ayuda, Profesor Luis Mengibar del Dep. Tecnología Electrónica)

Habría sido probablemente la mejor opción, pero no disponemos en los laboratorios de dispositivos que permitan programar este tipo de ICs, y habría sido necesario disponer de alguno como por ejemplo el SuperPro-6000E (Figura 29) que tiene un precio de 1960,9€ [14] (precio variable según distribuidora).



Figura 29. SuperPro-6000E Universal Programmer – Xeltek [14]

Solución 2: Lógica Programable, FPGA.

Las FPGA ofrecen varias ventajas respecto a los integrados de puertas lógicas, por ejemplo que pueden ser reprogramadas, pudiendo con ello variar sus funciones y por lo tanto reaprovecharlas para otros usos, y que ocupan mucho menos espacio, ya que sólo necesitaríamos un chip. Además, se dispone de programador compatible con este tipo de tecnología en el laboratorio, y ya se utilizó durante la carrera para Electrónica Digital.

Esta opción, a pesar de resultar muy atractiva en la teoría, tiene desventajas muy grandes en la práctica:

- En primer lugar, las funciones a implementar son demasiado pequeñas para aprovechar correctamente las FPGA, que tendrían muchísimo patillaje inútil.
- En segundo lugar, la lógica es inherente al diseño del proyecto, es decir, no se van a permitir en ella modificaciones realizadas por el personal del centro. La lógica NO es una variable del proyecto (Sí lo serían por ejemplo las grabaciones o los colores de los RGBs). Puesto que las funciones no van a ser reprogramadas, se desecha esta cualidad.
- Además la FPGA más pequeña en cuanto a patillaje y por lo tanto la más ventajosa para la pantalla (epm7032slc44-10), supone un gasto mucho mayor que el de los integrados, ya que los pedidos mínimos y la poca comerciabilidad hacen que el precio del pedido fuera de 75€ (15€/FPGA x 5FPGAs de pedido mínimo) frente a 2,76€ de coste de todas las puertas lógicas a usar (0,39€x6/OR + 0,42€/NOT).

Solo en el caso de manufacturar tiradas grandes de este sistema en el futuro, se valoraría como ventajosa la opción de lógica programable.

Solución 3: Puertas lógicas convencionales

Por todo lo antes explicado, se decidió utilizar puertas convencionales, en concreto una NOT 74LS04 y 6 OR de 4 entradas CD4072B, conectadas siguiendo el esquemático de la Figura 99 (ver [Anexo 3.3](#)):

2.2.6 Sistema de alimentación

En la esquina inferior derecha se encuentra la entrada de la alimentación (Figura 30), idéntica a una entrada de alimentación de un ordenador portátil, ya que el circuito se alimenta con un adaptador de corriente de ordenador, lo que aporta una solución inmediata.



Figura 30. Jack de alimentación

La otra opción sería llevar a cabo el diseño de un rectificador o un corrector de factor de potencia (CFP) desde cero, realizando los cálculos pertinentes y comprando los componentes necesarios. El diseño de un CFP es lo más complejo y sólo es obligatorio en sistemas comerciales que puedan presentar mayor distorsión armónica, y la alternativa de un rectificador normal, a pesar de ser más sencillo, sigue siendo una solución laboriosa y requiere de un gran número de componentes.

El adaptador de corriente, aparte de ser la solución rápida, acababa siendo igual de económica. La única desventaja de no haber usado un diseño propio reside en el hecho de tener que incluir un regulador de tensión, de los cuales se dispone el laboratorio y que son fácilmente localizables en cualquier tienda de electrónica

El adaptador de corriente universal para portátiles de la marca TRUST permite regular la tensión de salida dada en un rango de 9,5 a 20V, como se observa en la Figura 31, y se suministra con adaptadores de Jack de todos los tamaños (Figura 32).



Figura 31. Selector de tensión entregada que incluye nuestro adaptador



Figura 32. Jacks incluidos con el adaptador de corriente. En la esquina inferior derecha se encuentra el utilizado.

Se ha escogido este adaptador por reunir las cualidades mencionadas.

En la pantalla todo se alimenta a 5V, con lo que tras del adaptador de corriente se debe colocar un regulador de tensión L7805 (Figura 33). Dado que la tensión entregada será reducida hasta 5V, cuanto mayor sea la tensión entregada, mayor será la cantidad de tensión derrochada, y mayor la potencia perdida. Un adaptador de PC portátil normal siempre oscila los 19V, mientras que el seleccionado finalmente, al poder elegir puede llegar a 9,5V, desaprovechando sólo 4,5V frente a los 14,5V desaprovechados en los otros casos. Esto en potencia se traduce a:

$$\text{Consumo estático: } 30 \text{ mA} \rightarrow 30 \text{ mA} * 4,5 \text{ V} = 135 \text{ mW}$$

$$\text{Consumo máximo: } 510 \text{ mA} \rightarrow 510 \text{ mA} * 4,5 \text{ V} = 2,295 \text{ W}$$

Ambas corrientes fueron medidas con un polímetro en el laboratorio, una al mantener la pantalla en espera y la otra mientras está luciendo una casilla y sonando al mismo tiempo su grabación asociada.

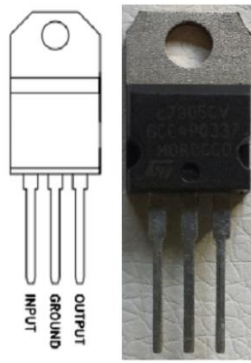


Figura 33. Regulador de tensión L7805

Partiendo del esquema térmico de la Figura 34, se calcula la temperatura del regulador considerando el peor caso, es decir, un funcionamiento constante con un consumo de 2,295 W.

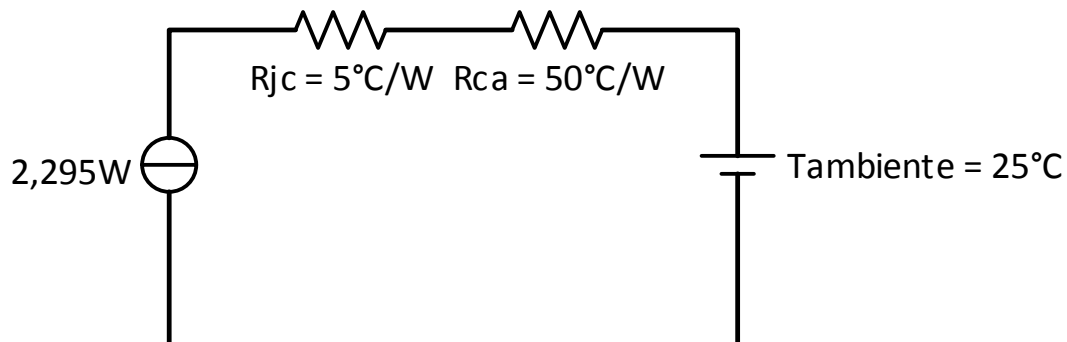


Figura 34. Esquema térmico del L7805

$$T_{TOTAL} = 55 \frac{^{\circ}C}{W} * 2,295 W = 126,225$$

$$T_{REGULADOR} = 126,225 - 25 = 101,225^{\circ}C$$

Y la temperatura máxima que aguante el regulador es de 150 °C (ver hoja de características del L7805).

Dado que la potencia disipada es muy pequeña, no será necesario montar el regulador sobre un disipador de calor.

La potencia total que consume nuestro sistema será:

$$\text{Consumo estático: } 30 \text{ mA} \rightarrow 30 \text{ mA} * 9,5 \text{ V} = 285 \text{ mW}$$

$$\text{Consumo máximo: } 510 \text{ mA} \rightarrow 510 \text{ mA} * 9,5 \text{ V} = 4,845 \text{ W}$$

En cuanto al conector, el Jack más apropiado para este sistema es el de la Figura 35 que cuenta con un diámetro lo bastante pequeño como para introducir en él cable unifilar.



Figura 35. Alimentación de nuestra pantalla

Como se puede observar en la imagen anterior (Figura 35), la masa (parte metálica del Jack que recorre toda la columna) lleva soldada un cable que irá conectado directamente al interruptor de ON/OFF de la botonera, de manera que al abrir el interruptor la masa del circuito quedará en circuito abierto y, por lo tanto, deja de funcionar, y al cerrar vuelve a encenderse. Metido por dentro del Jack se encuentra el cable que será la alimentación, de donde salen los 9,5V que irán directamente conectados al regulador.

En serie con la alimentación se coloca un fusible de 1A y 250V (Figura 36) para garantizar la seguridad del circuito ante posibles subidas de tensión.

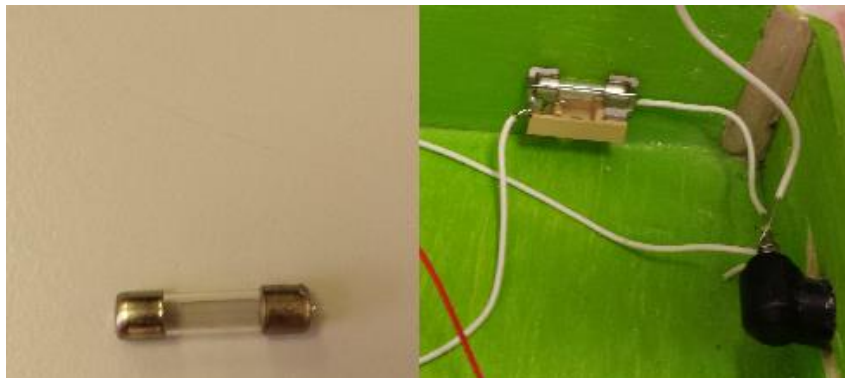


Figura 36. A la izquierda el fusible utilizado, a la derecha el fusible colocado ya en su zócalo

El fusible se ha reciclado de la placa de lo que en su día fue un detector de metales.

Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales

3.1 Software del microcontrolador

Para explicar el funcionamiento del programa, se presentarán fragmentos del diagrama de flujo para ir explicando todo parte por parte. ³

Se comenzará explicando el programa principal, para ir explicando posteriormente los diagramas de las distintas funciones que se han utilizado dentro del mismo.

3.1.1 Programa principal

El diagrama de flujo completo de la función principal se encuentra dividido en varias imágenes, mostradas en las Figuras 37 y 38:

³ Todos estos diagramas están desarrollados en la plataforma “Visio” de Microsoft.

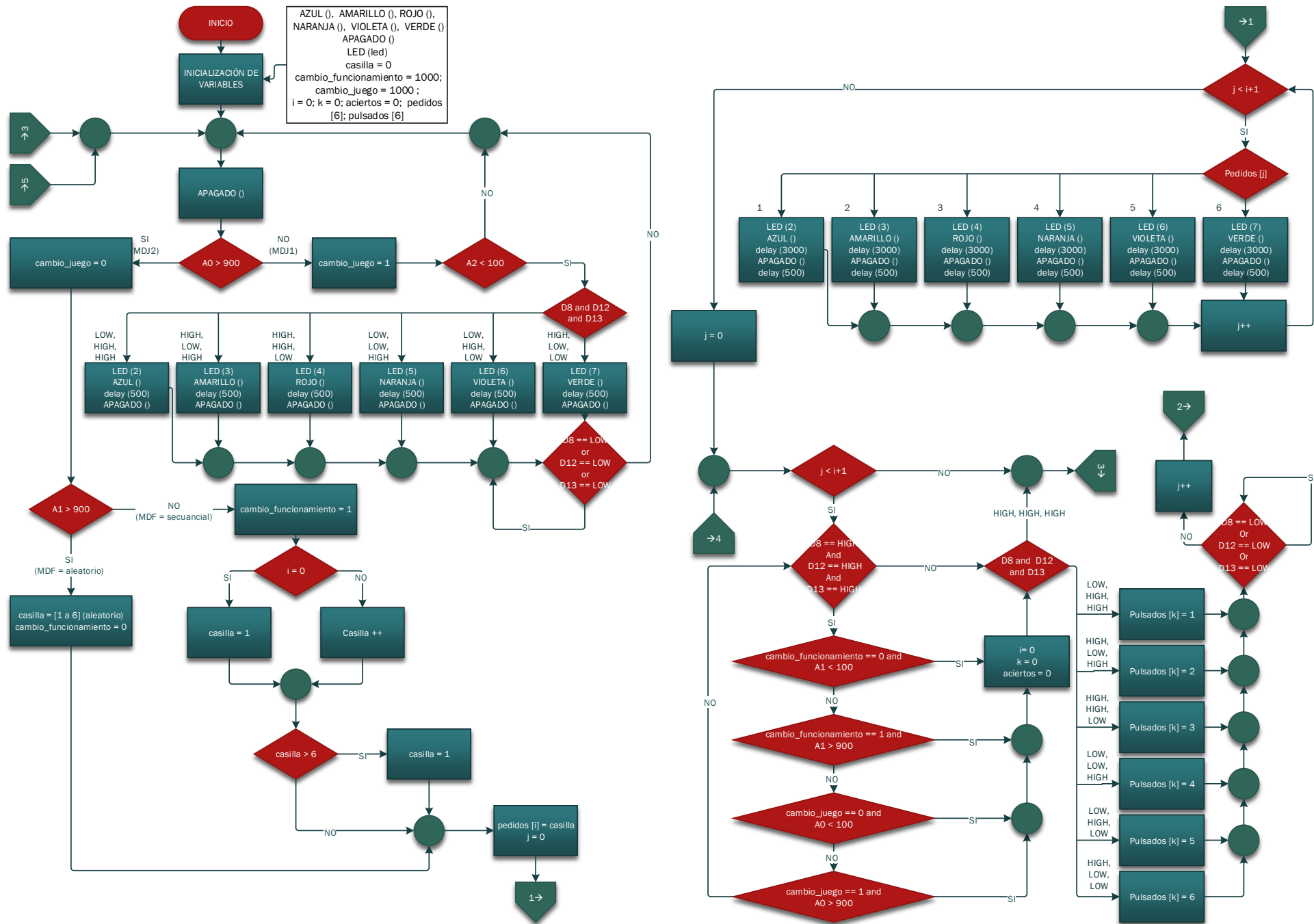


Figura 37. Primera y segunda parte del programa principal

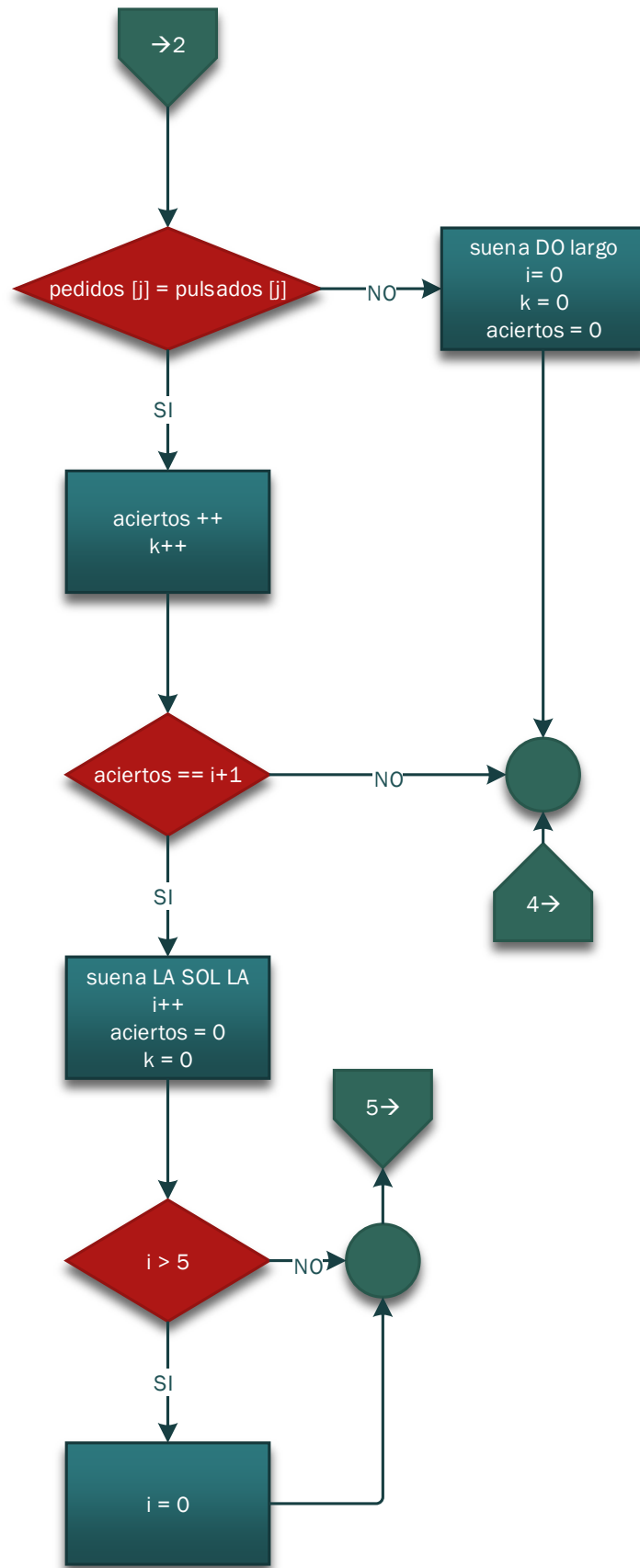


Figura 38. Tercera parte del programa principal

A continuación se irá explicando parte por parte el diagrama de flujo del programa principal.

Programa principal. Inicialización del sistema y selección del MDJ

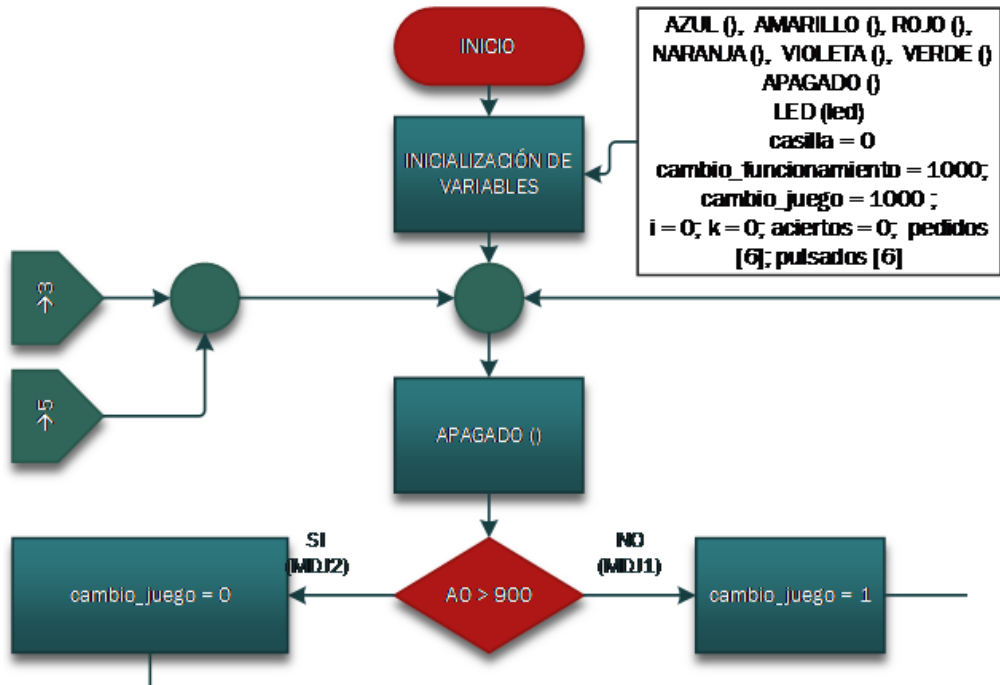


Figura 39. Inicialización del sistema y selección del MDJ

Al empezar el programa, la primera tarea será definir e inicializar todas las variables y las funciones que se usarán a lo largo del programa, y tras inicializar, hay que asegurarse de que al dar comienzo el programa la pantalla esté totalmente apagada.

Tras haber fijado la situación inicial del sistema, se comprobará en qué modo de juego se encuentra, pues esto marcará el rumbo a seguir en el resto de todo el programa. Para elegir MDJ hay conectado un interruptor a la patilla A0 del microcontrolador, de manera que cuando esté cerrado (5V en A0, es decir, 1023 en valor binario) se seleccionará el MDJ2, y cuando está abierto (0V en A0, es decir, 0 en valor binario) funcionará en MDJ1. Como se irá viendo a lo largo del diagrama, las condiciones que realmente se han fijado son $A0 > 900$ para los 5V y $A0 < 100$ para los 0V. Esto es así para lograr que el sistema sea insensible ante la posibilidad de variaciones en los niveles de tensión.

La variable *cambio_juego* tendrá un valor u otro en función del MDJ y servirá más adelante para detectar cambios en el mismo.

Programa principal. Configurar modo de funcionamiento en MDJ2

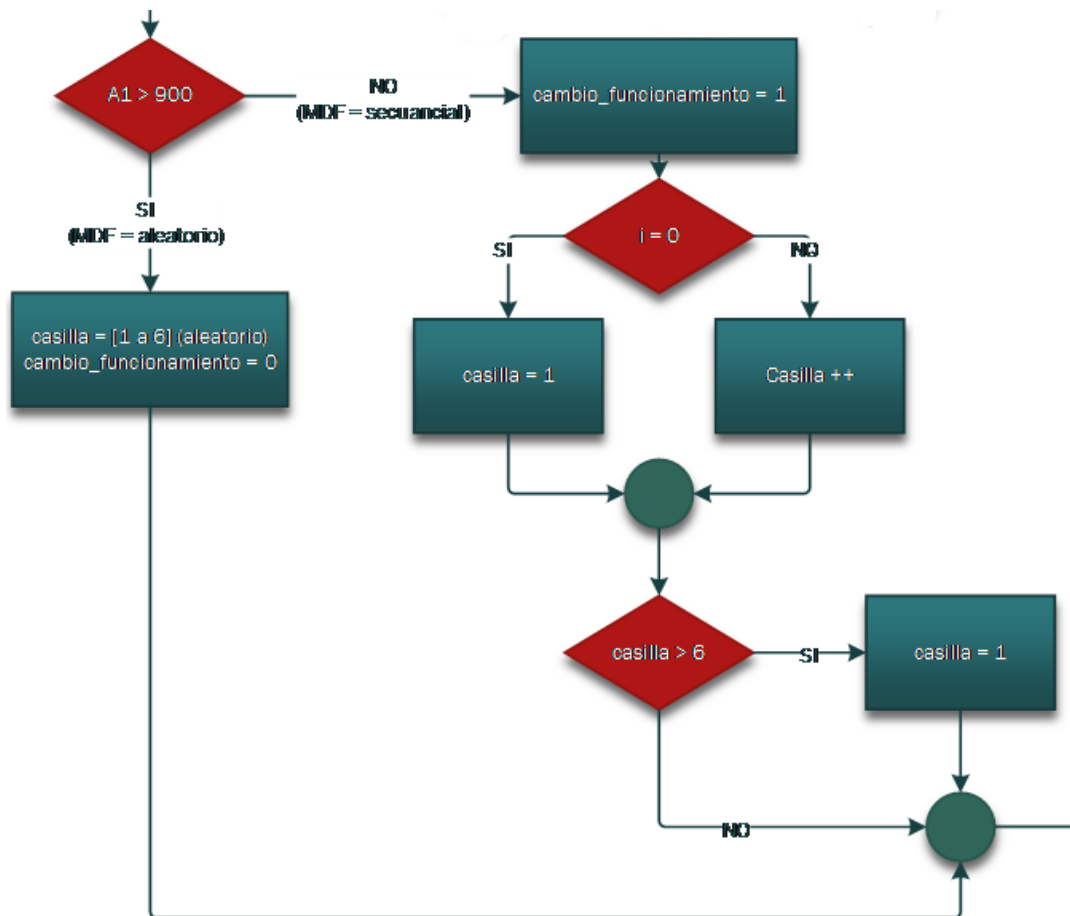


Figura 40. . Configurar modo de funcionamiento en MDJ2

Siguiendo hacia abajo por la parte izquierda de la Figura 39, se encuentra la comprobación del MDF (Figura 40). El MDF se configura usando un interruptor conectado a A1, cuando éste esté cerrado (5V en A1, es decir, 1023 en valor binario) el sistema se encontrará en MDF aleatorio, y cuando esté abierto (0V en A1, es decir, 0 en valor binario) se encontrará en MDF secuencial. En este caso también tenemos una variable que sirve más adelante para distinguir si el usuario ha cambiado el MDF, esa variable es *cambio_funcionamiento*.

En el MDF aleatorio, se asigna a *casilla* un valor aleatorio entre 1 y 6, usando como semilla de aleatoriedad el ruido entrante por la patilla A3 [15]. En un primer momento se utilizó como semilla de aleatoriedad uno de los timer del micro, pero presentaba un problema en la práctica: el primer LED en encenderse siempre era el mismo, siendo realmente aleatorios sólo los sucesivos al primero.

En el MDF secuencial se incrementa en uno *casilla* cada vez que se recorre el programa, inicializándose *casilla* a 0 si es la primera vez. Cuando *casilla* supera 6, se reinicia su valor a 1, volviendo a comenzar de esa forma el ciclo.

Programa principal. Creación de la secuencia de colores que se pide reproducir en MDJ2.

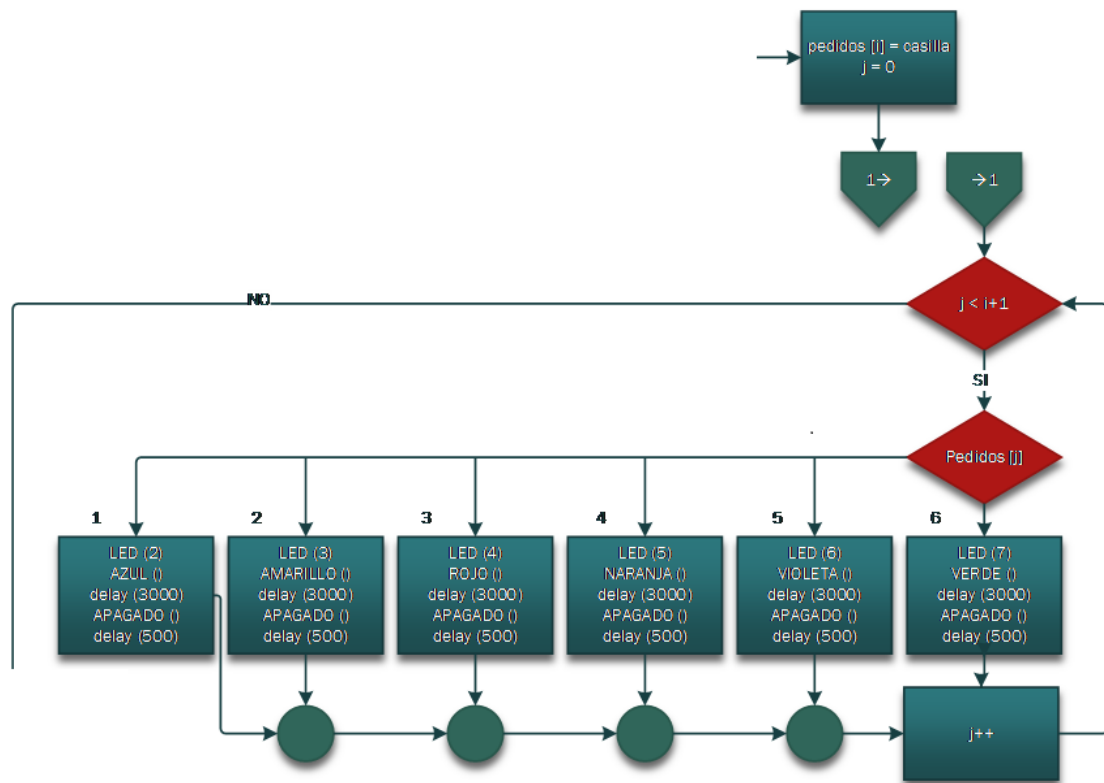


Figura 41. Creación de la secuencia de colores que se pide reproducir en MDJ2

Continuando la Figura 40 hacia abajo, se encuentra el bucle que servirá para mostrar la secuencia de colores que deberá reproducir el niño (Figura 41). Dicha secuencia se dará mediante el array *pedidos[6]*. La variable *i* indicará el tamaño actual de a secuencia, e irá aumentando a medida que el niño vaya completando con éxito la secuencia anterior, como se verá más adelante. Antes de entrar en el bucle que sirve para mostrar al niño los colores que deberá ir pulsando, se incorporará al array *pedidos* la nueva casilla que se suma a la secuencia. Una vez agregada la nueva casilla, se entrará en el bucle, que mostrará secuencialmente todas las casillas que lleve almacenadas ya el array. Cada una se encenderá 3 segundos (*delay(3000)*) para facilitar que los niños sean capaces de asimilar los colores, y se apagará medio segundo (*delay(500)*) antes de que se encienda la siguiente.

Una vez mostrados todos los colores que se deben reproducir para acertar, pasamos a comprobar la actuación del niño a través de las señales enviadas por el mando.

Programa principal. Esperando actuación del usuario en MDJ2.

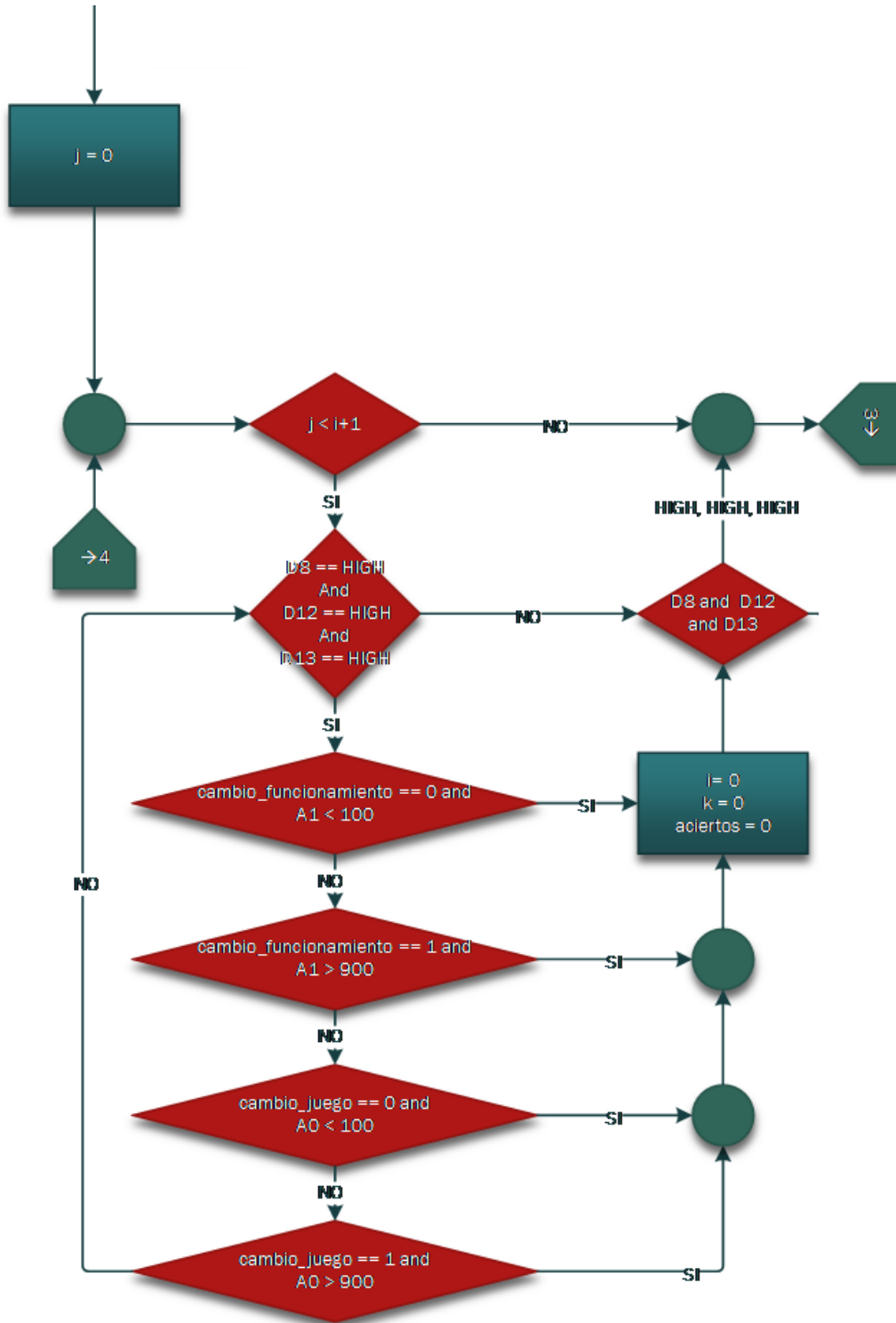


Figura 42. Esperando actuación del usuario en MDJ2

A continuación, en la Figura 42, se inicializa de nuevo j a 0 para volver a recorrer un array hasta llegar al valor de la posición i . pero esta vez el array recorrido es el *pulsados* [6] para ir almacenando en él las casillas que vaya pulsando el niño en ese mismo orden. Mientras no se pulse ningún botón en el mando, D8, D12 y D13 permanecen a nivel alto, circunstancia en la cual no ocurre nada puesto que estas entradas, provenientes del decodificador, se activan a nivel bajo (ver [Sección 2.2.3.2](#)).

El sistema se mantendrá a la espera de que el usuario pulse algún botón, comprobando en todo momento si se produce algún cambio en el MDF o en el MDJ, en cuyo caso también se abandonará el bucle, reseteando a 0 las variables de juego y reiniciando el juego.

Cuando el número de casillas pulsadas sea igual al tamaño actual de la secuencia, se regresará al inicio del programa, pero la longitud de la secuencia habrá aumentado en 1 como se demuestra más adelante.

Una vez el usuario ha realizado alguna acción, ya sea cambiar el MDF, el MDJ o pulsando para intentar acertar, se comprobará cuál fue esa acción.

Programa principal. Analizando actuación del usuario (1) en MDJ2.

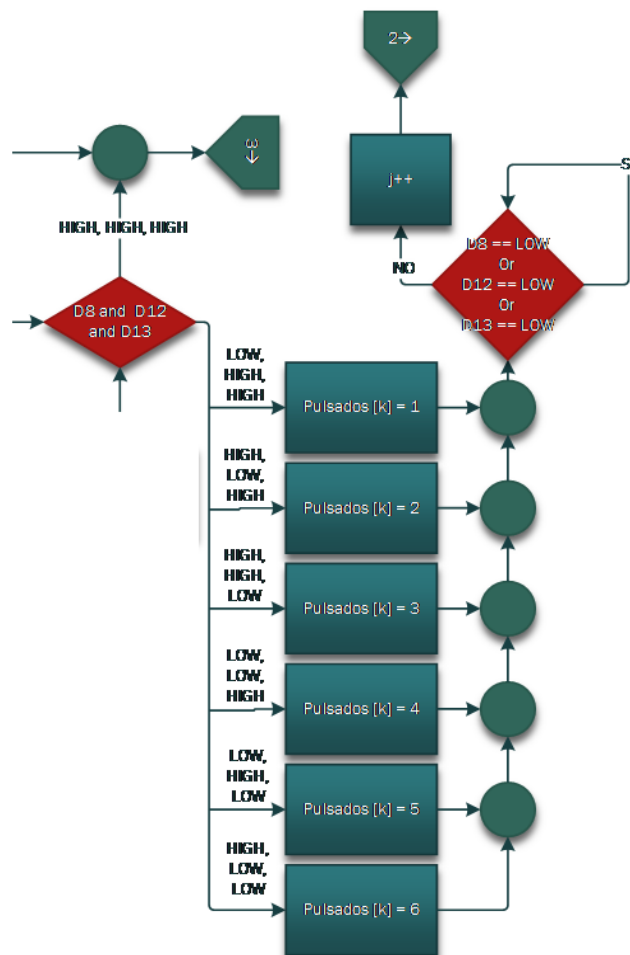


Figura 43. Analizando actuación del usuario (1) en MDJ2

Tras la actuación del usuario, se procederá a analizar esa acción (Figura 43). Se almacenará en la posición actual del array *pulsados [6]* el color que se haya pulsado. Si no se ha pulsado ningún color, será porque lo que realmente se produjo en el

diagrama de la Figura 42 fue cambiar de MDF o de MDJ, en cuyo caso el programa se reinicia con la nueva configuración, volviendo al comienzo justo antes de APAGADO () (direccionamiento del flujograma →3).

Después de pulsar, un sistema antirrebote, que consiste en mantener el programa encerrado en un bucle, impide que lleguen varias pulsaciones de una vez por error.

Una vez almacenada la pulsación actual, se comprueba si dicha pulsación coincide con el color que se esperaba recibir en esa posición, es decir, si se ha acertado o se ha fallado.

Programa principal. Analizando actuación del usuario (2) en MDJ2.

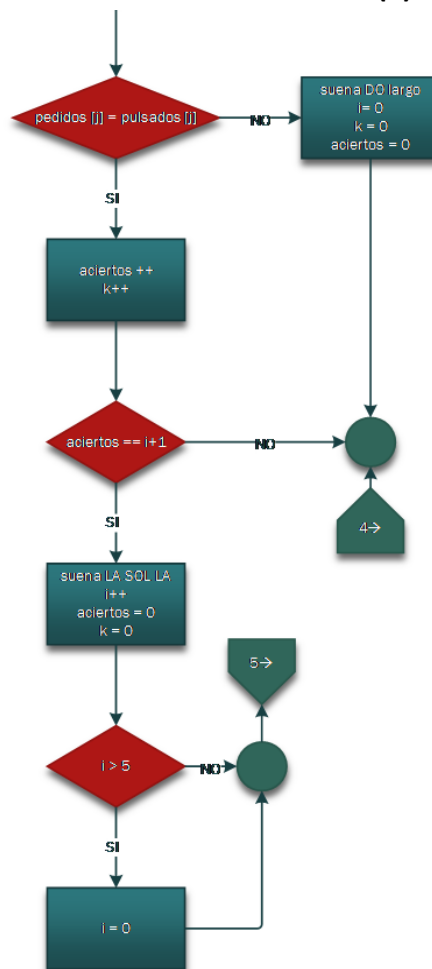


Figura 44. Analizando actuación del usuario (2) en MDJ2

A continuación (Figura 44) se compara lo que ha pulsado el jugador con aquello que se le pedía pulsar en la posición actual dentro de la secuencia, mediante la comparación de los arrays *pedidos[]* y *pulsados[]* hasta el punto actual. En caso de fallo, sonará un Do largo para indicar que no se acertó, se reiniciarán las variables del juego y se volverá a la comprobación del bucle (direccionamiento del flujograma →4) pero, al haberse reiniciado el valor de *i* a 0, no se cumplirá la condición que nos

mantenía dentro del bucle de actuación, y se vuelve al comienzo por direccionamiento del flujograma 3→.

Si por el contrario el jugador acierta, se comprobará si el número de aciertos coincide con el tamaño de la secuencia actual.

Si no coincide, se volverá al inicio del bucle (direccionamiento del flujograma →4) y se analiza la siguiente pulsación, comenzando el proceso nuevamente hasta que coincida.

Una vez coincida el número de aciertos con el tamaño de la secuencia, sonará el tresillo musical “La Sol La”, se aumentará la longitud de la secuencia de colores en 1, se reiniciará *aciertos* a 0 para comenzar una nueva secuencia y se comprobará si la cadena ha llegado ya a su máxima longitud (dicha longitud máxima es 6, pero se compara con un 5 ya que se cuenta desde 0 y no desde 1). Si la cadena ha llegado a su longitud máxima, se reinicia el juego con la longitud inicial. En caso contrario, se reinicia con la nueva longitud, que será la anterior pero incrementada en 1.

Volviendo a situarnos en el primer diagrama (Figura 39)... Si en lugar de haber seleccionado en un principio el MDJ2 se hubiera seleccionado el MDJ1, el diagrama habría continuado de la siguiente forma:

Programa principal. MDJ1

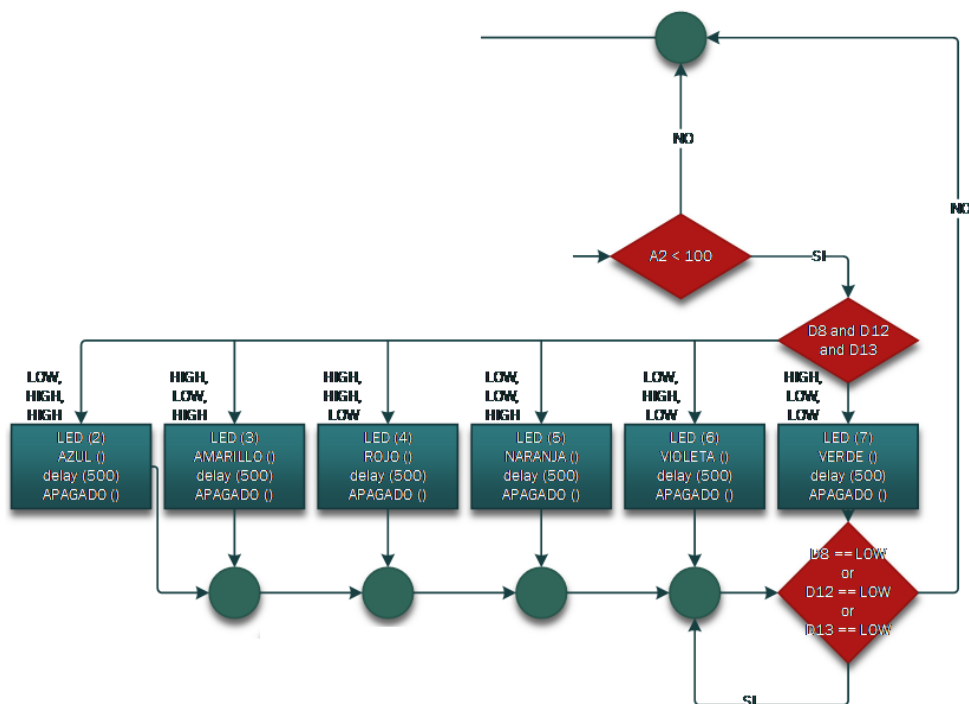


Figura 45. MDJ1

En el caso de haber elegido MDJ1 (Figura 45) caso la entrada analógica A2 comprobará que el jugador ha acertado en el MDJ1, y en caso de haber acertado, se encenderá el color correspondiente de la pantalla, se quedará de nuevo a la espera de otro acierto y así sucesivamente. Esta es la única tarea del microcontrolador de la pantalla cuando está activado el MDJ1, ya que en este MDJ el que gobierna el funcionamiento es el microcontrolador del mando.

3.1.2 Funciones agregadas al programa principal

Se presentan a continuación unos pequeños diagramas de flujo que muestran el comportamiento de las funciones que se han llamado en distintos puntos del programa principal y que se han definido para ahorrar repeticiones de código.

Función de selección void LED (int led)

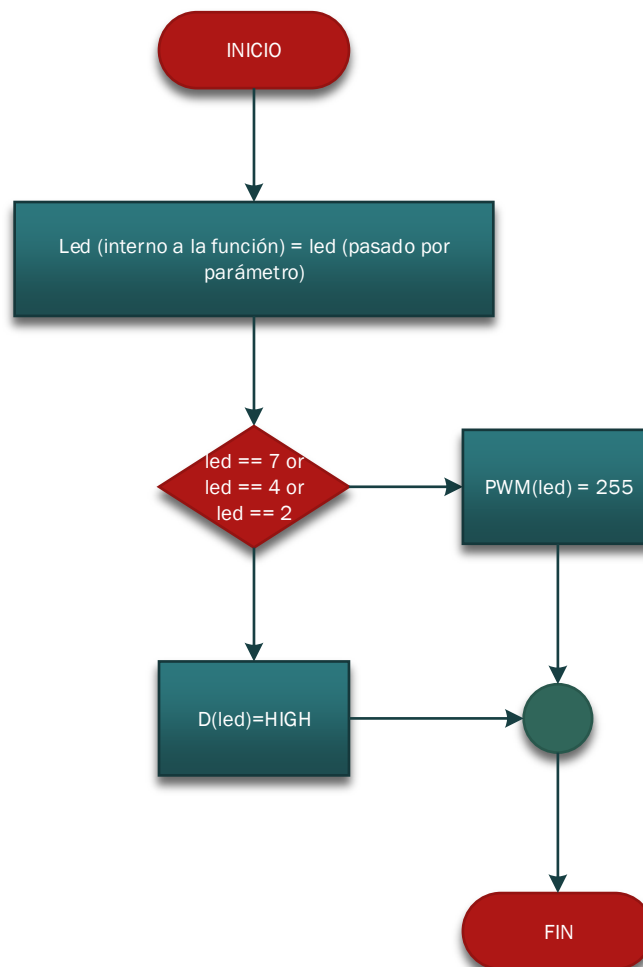


Figura 46. Función de selección

La función de selección (Figura 46) servirá para seleccionar la casilla sobre la que vamos a actuar. La variable led es pasada como parámetro en la llamada a la función. En el caso de las salidas 2,4 y 7, al tratarse de salidas digitales, se activan poniendo las salidas a nivel alto. Como el resto de salidas usadas para los colores son

PWM (ver Tabla 4 en la [Sección 2.2.4.3](#)), se activan poniendo su máximo valor de manera continua, 255, provocando un ciclo de trabajo del 100 %, funcionando así como si fuera una salida digital normal.

Funciones de coloreado: AZUL (), AMARILLO(), ROJO(), NARANJA(), VIOLETA() VERDE(), APAGADO()

Todas las salidas nombradas en la Figura 47 aparecen relacionadas con sus correspondientes pines del microcontrolador en la Tabla 4 (ver [Sección 2.2.4.3](#))

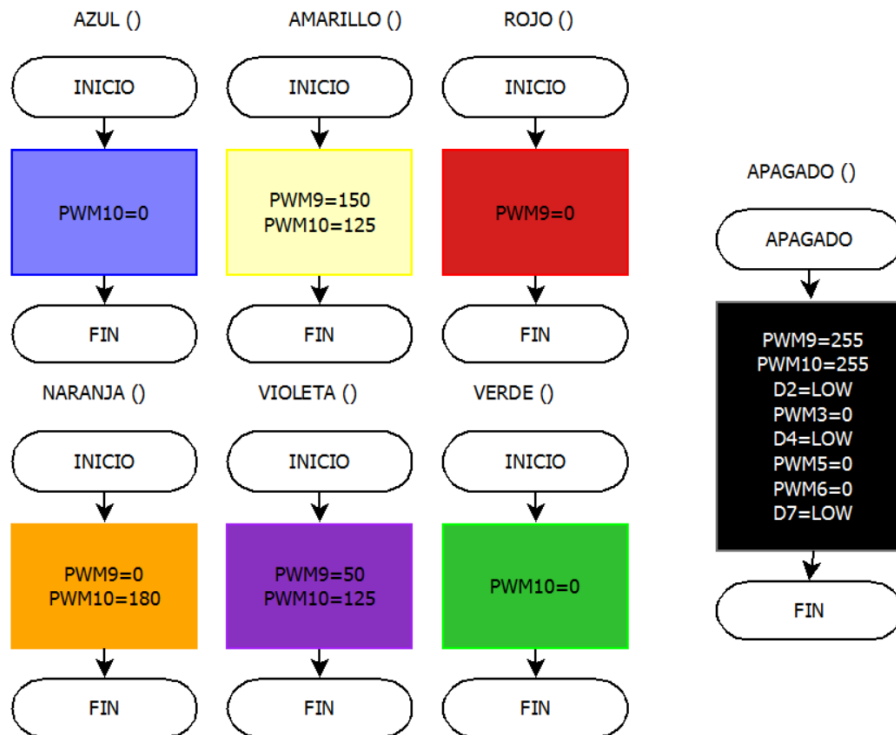


Figura 47. Funciones de coloreado

Estas funciones servirán para indicar el color del que debe lucir la casilla en cuestión, o si debe apagarse una casilla que se encontraba encendida. Aunque las funciones AZUL () y VERDE () contengan realmente el mismo código, se han mantenido las dos para mejorar la comprensión del programa.

Función de configuración *void setup ()*

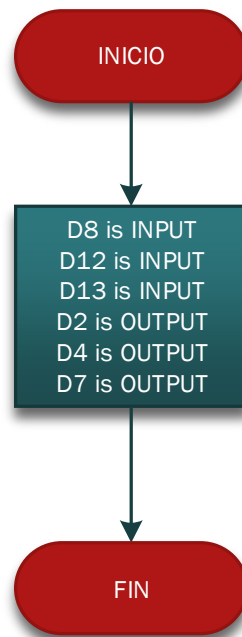


Figura 48. Función de configuración

Siempre que se utiliza un microcontrolador, lo primero que se debe indicar es qué modo de funcionamiento tendrán las líneas digitales, es decir, si serán de salida o de entrada. Esta función debe aparecer antes del programa principal y nunca será llamada dentro del mismo, basta con declararla para que los pines queden configurados.

D8, D12 y D13 son entradas ya que tienen la información de los pulsadores, proveniente del decodificador (ver tabla 5 de la [sección 2.2.4.3](#)). D2, D4 y D7 se utilizan para los Ánodos de los LEDs y serán por tanto salidas. Las otras 3 líneas usadas para los LEDs (D3, D5 y D6) son PWM y siempre actúan como salida, sin necesidad de configuración. El resto de líneas usadas son analógicas (A0, A1, A2) y tampoco necesitan configuración, pues analógicamente sólo pueden usarse como entrada para leer el nivel de tensión que conectemos directamente en ellas. Cada entrada analógica dispone de un ADC de 10 bits, de manera que la tensión que conectemos a cualquiera de esas entradas se transformará en un valor digital que puede ir de 0 a 1023, 0 cuando la tensión sea de 0V y 1023 cuando sea de 5V.

$$\text{La resolución del ADC sería: } \frac{5}{1024} = 4,88 \text{ mV/división}$$

3.2 Construcción mecánica del sistema

En este apartado se presenta el material utilizado para la construcción de la pantalla, cómo se ha realizado el montaje mecánico de la misma y cómo se han anclado a ella todos los componentes que lleva (botonera, placas de soldadura y matriz de LEDs).

3.2.1 Material de construcción de la pantalla

La pantalla está realizada con madera de contrachapado (Figura 49) por ser éste un material fácil de trabajar y capaz de resistir toda la carga a la que se verá sometida la pantalla una vez colgada en la pared. También se barajó la posibilidad de hacerla con plástico, pero habría sido mucho más caro y es más complicado de tratar que la madera. Además, su tamaño es excesivo para hacerla con una impresora 3D como se hizo el mando [4].



Figura 49. Tablas de madera de contrachapado recortadas para la construcción de la pantalla

3.2.2 Dimensiones

Las medidas exteriores de la pantalla se ciñen a las especificaciones de los monitores del colegio, es decir, 80x60 cm. En principio se iba a dividir directamente este espacio en 6 partes iguales, una por cada uno de los colores que pidió el colegio, y se iban a colocar los interruptores y pulsadores que sirven como interfaz con los cuidadores en un lateral de la pantalla, pero finalmente se acordó aumentar el ancho de la pantalla y aprovechar este nuevo espacio para situar la botonera y las placas con toda la circuitería, con lo que el ancho añadido será tal que pueda albergar las placas en él. El espacio restante se divide en 6 casillas del mismo tamaño. Las dimensiones finales son de 90 x 60 cm (ver [Anexo 2.1](#)).

3.2.3 Colores del acabado de la pantalla y la botonera

Al no haber especificaciones sobre el color de la pantalla, se ha elegido un color verde pistacho (Figura 50) por gusto propio. Bajo la pintura todas las piezas llevan una capa de imprimación blanca para asegurar el agarre de la pintura y lograr un mejor acabado.



Figura 50. Tablas cortadas y pintadas

3.2.4 Diseño del marco

El marco es de color negro por petición del colegio. Inicialmente se hizo únicamente marco exterior, dejando las divisiones entre las casillas sin tapar para taparlas con cinta aislante, resultando el marco de la Figura 51.



Figura 51. Marco inicial

Pero el resultado no convenció a los autores del TFG, pues la ausencia de marcos internos para las casillas estropeaba mucho la estética de la pantalla, así que se cambió al diseño que se muestra en la Figura 52.



Figura 52. Marco final

Cada casilla lleva un folio de papel de acetato para simular una pantalla real y permitir que los monitores puedan superponer acetatos transparentes con pictogramas.

3.2.5 Evolución de la botonera

La pieza que sin duda alguna más cambios ha sufrido a lo largo del diseño ha sido la botonera. En un principio la interfaz de usuario para los monitores del colegio iba a estar situada en un lateral de la pantalla, lo que permitía mantener las dimensiones acordadas inicialmente. El problema de este diseño era la falta de un sitio en el que situar las placas sin tener que invadir una de las casillas de LEDs. El entramado de cables quedaba demasiado enrevesado y el diseño resultaba poco atractivo y ergonómico.

Se propuso al colegio la incorporación de una botonera a la derecha de la pantalla que permitiera tener toda la circuitería centralizada en un lugar cercano a la matriz de LEDs, pero fuera de la misma. Además, con este diseño el manejo de la botonera es mucho más intuitivo y la circuitería queda más accesible por si fuesen necesarias futuras reparaciones. Este diseño fue aceptado por los cuidadores y queda reflejado en la Figura 53.

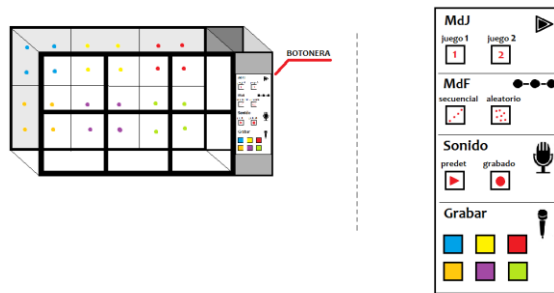


Figura 53. Pantalla con botonera a la izquierda y ampliación de la botonera a la derecha.

Como la botonera quedó mucho más larga de lo que se esperaba en un principio, este diseño se retocó un poco y quedó todo ubicado a lo largo de una misma columna.

El primer diseño incorpora dos jacks distintos y un interruptor para poder seleccionar el canal de audio. Esto se debe a que en cada MDJ el audio proviene de una fuente distinta, y se pensó que sería necesario poder seleccionar en cada MDJ la salida de la que provenía su propio audio. Este diseño quedó como se observa en la Figura 54.



Figura 54. Botonera con dos canales de audio

Todos los pulsadores e interruptores están unidos a la tabla con masilla para madera. El micrófono, los jack y los interruptores de palanca van pegados con termofusible. El contorno de los pulsadores está coloreado del mismo color que la casilla a la que va asociada ese audio.

En el montaje final las dos salidas de audio se cortocircuitaron, para probar si podíamos sacar tanto el audio del micro como el del ISD1916 por una misma salida de Jack sin problemas y el resultado fue satisfactorio.

El microcontrolador sólo genera sonido en el MDJ2, y gracias a la lógica, como se vio en la [Sección 2.2.5.2](#), la grabación sólo funciona en el MDJ1. Por tanto, se puede economizar el número de entradas y pasar de dos canales de audio a uno solo, diseño final de la Figura 55.



Figura 55. Diseño final de la botonera.

3.2.6 Matriz de LEDs RGBs

Para poder llevar el cableado desde cada LED hasta la placa, cada una de las patillas del LED que se utilice lleva soldado un cable (Figura 56) naranja en el caso de los ánodos, rojo en el de los cátodos. Posteriormente se emplean todas aquellas conexiones que sean comunes para así tener que trasladar la menor cantidad de cable posible.



Figura 56. LED RGB con cables soldados a sus patillas

Siendo más específico, se han empalmado todos los Ánodos de los LEDs de una misma casilla. También van empalmadas todas las líneas que controlan el rojo de la pantalla, y todas las líneas que controlan el verde/azul (ver [Sección 2.2.2.2](#)).

Hay un total de 24 LEDs RGB en toda la pantalla. Cada casilla (Figura 57) lleva 4 de esos LEDs, 2 pegados en la parte superior de la misma, y otros 2 en la parte inferior, cerca de las 4 esquinas. Si bien habrían esparcido mejor la luz colocándolos más centrados en la casilla, de esta forma los LEDs no habrían quedado cubiertos por el marco, con lo que se verían claramente los 4 focos de emisión, cosa que se pretendía evitar. Además, cada casilla lleva de fondo una cartulina metalizada para reflejar más la luz (cada casilla llevará la cartulina de un color lo más parecido posible al emitido en esa casilla).



Figura 57. Casilla de color rojo

Como ya se vio, la pantalla tiene un marco interno. Este marco servirá de bandeja para sostener el papel blanco (papel de embalaje) que tapaná el cableado de la matriz de LEDs RGB y esparcirá la luz por toda la casilla, funcionando como un difusor. El marco externo sirve para embellecer y para sustentar el papel de acetato, que hará las veces de “cristal” de la pantalla. El orden de los colores en las casillas sigue el patrón indicado por el colegio. Dicho orden de colores y las cartulinas metalizadas para cada uno se muestra en la Figura 58.



Figura 58. A la izquierda, colores de cada casilla de la pantalla. A la derecha resultado

3.2.7 Ensamblaje pantalla

Todas las piezas de la pantalla van pegadas entre sí con adhesivo de montaje extra fuerte, a excepción de la botonera que va unida a la pantalla mediante bisagras para permitir el acceso al circuito. Los RGBs van pegados al marco interno y a las paredes de las casillas con cinta aislante, y los empalmes de sus cables van pegados también con cinta aislante al fondo de cada casilla para que no molesten los cables. La botonera se cierra gracias a una aldaba de hierro latonado.

3.2.8 Resultado final

El resultado final se puede ver en la Figura 59.

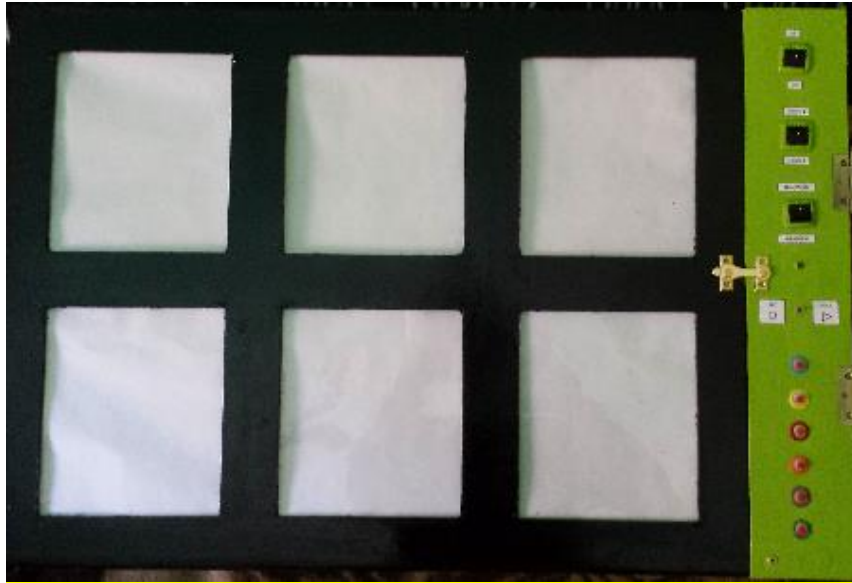


Figura 59. Resultado final de la pantalla

3.3 Implementación de la electrónica

El montaje inicial de toda la circuitería se realizó sobre placas de pruebas para poder ir comprobando el funcionamiento de cada parte. Las primeras pruebas (Figura 60) sirvieron para comprobar que se establecía correctamente la comunicación entre el mando y la pantalla, es decir, que se establecía sin ningún problema la comunicación por RF.

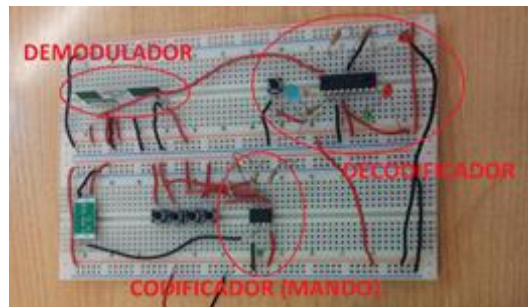


Figura 60. Comunicación por RF en placa de pruebas

A continuación se incorporó el microcontrolador (Figura 61) con un programa sencillo que sirviera para tener una primera toma de contacto con el mismo y aprender a procesar la información que se le introduce.

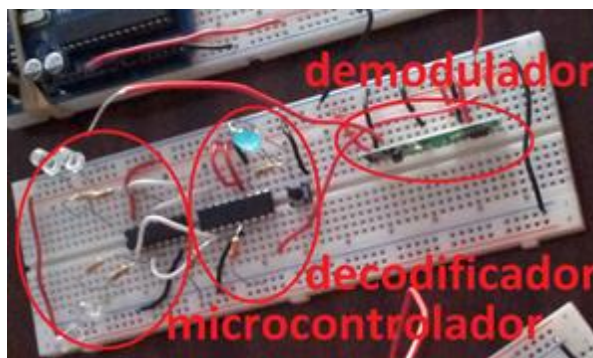


Figura 61. Receptor de RF con microcontrolador incorporado

Tras la primera toma de contacto con el micro, se empieza a desarrollar el programa que finalmente se integraría en él. Para poder ir probando el código escrito, era necesario tener un conjunto sencillo de LEDs RGBs conectados al microcontrolador para demostrar que el comportamiento era el que nosotros buscábamos.

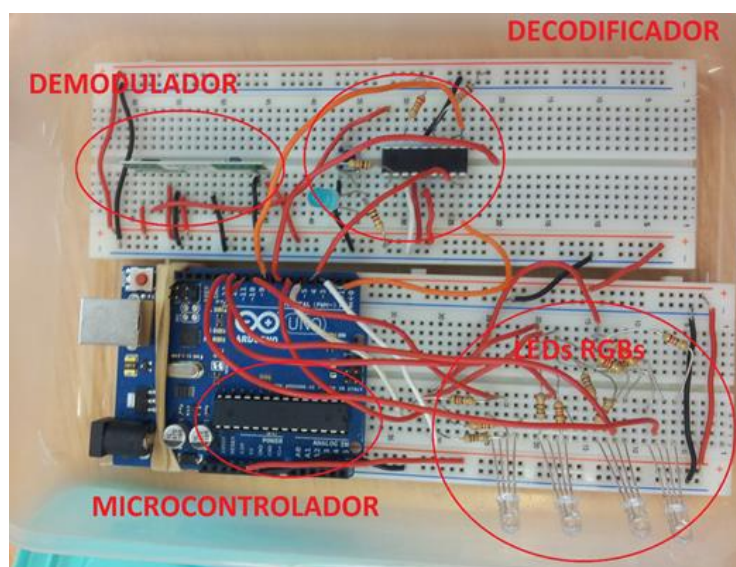


Figura 62. Probando colores

En estas primeras pruebas se pretendía conseguir los colores que pedían para el proyecto. Para buscar los colores se realizaron varias pruebas de ensayo y error variando los valores de ciclo de trabajo de las señales PWM con las que se generan los colores. Estas pruebas se hicieron usando un único LED por casilla, y emitiendo sólo 4 colores, ya que hay 3 colores mezcla, y los monocromáticos se consiguen de forma directa. Como al principio se desconocía el modo de transferir el programa al micro estando éste en la protoboard, algunas pruebas se realizaron dejándolo directamente en la ARDUINO por comodidad (ver Figura 62).

Una vez conseguidos los colores requeridos, se probó el juego con los interruptores para elegir modo y el audio del MDJ2 incorporados (Figura 63).

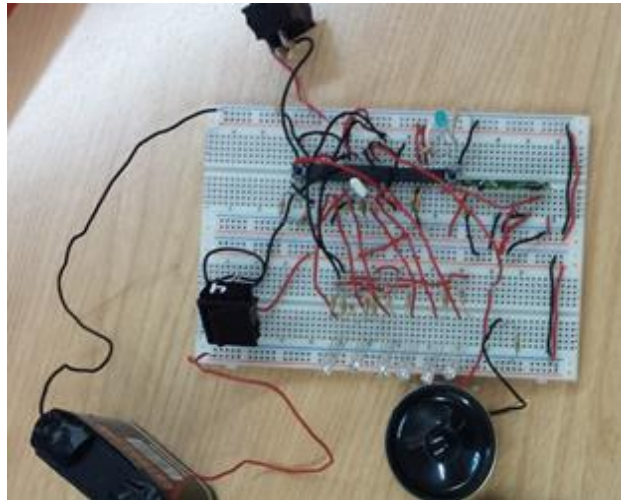


Figura 63. Probando los modos de juego y de funcionamiento

Tras comprobar que las luces y el audio del MDJ2 funcionan correctamente, se realiza el montaje del ISD19016 para conseguir el audio requerido en el MDJ1.

El montaje de este componente es el más laborioso de todos, debido al encapsulado SOIC (Figura 64).

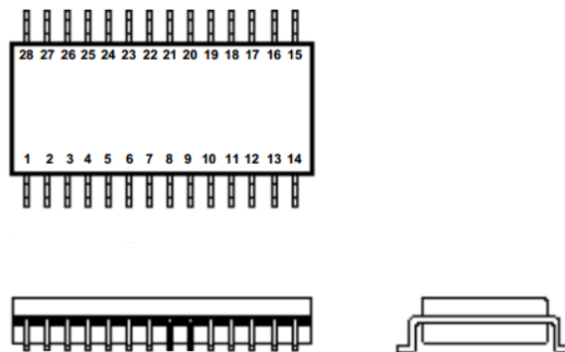


Figura 64. Encapsulado del ISD1916 (SOIC 28) (Hoja de características del ISD1916)

Para poder conectar el integrado a la placa de pruebas, fue necesario soldar el integrado a una plaquita PCB auxiliar (Figura 65).



Figura 65. ISD1916 soldado sobre la PCB auxiliar

La placa auxiliar dispone de un drill para cada patilla del ISD1916 (más 4 de sobra), lo que permite soldar conectores macho-hembra para cada patilla (Figura 66).

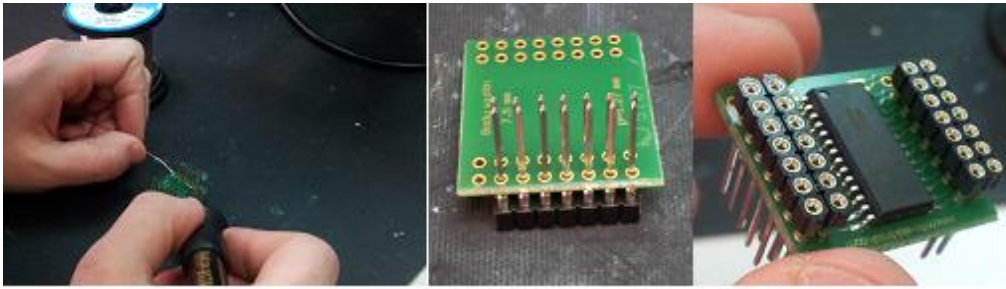


Figura 66. Soldando las patillas del ISD1916

Por último, cada patilla va a la placa de pruebas mediante cable unifilar (Figura 67) (no se puede conectar directamente con las patillas puestas ya que se cortocircuitarían todas las patillas de una misma fila).



Figura 67. ISD1916 conectado en la placa de pruebas

En la Figura 68 se aprecia el montaje de las pruebas finales.

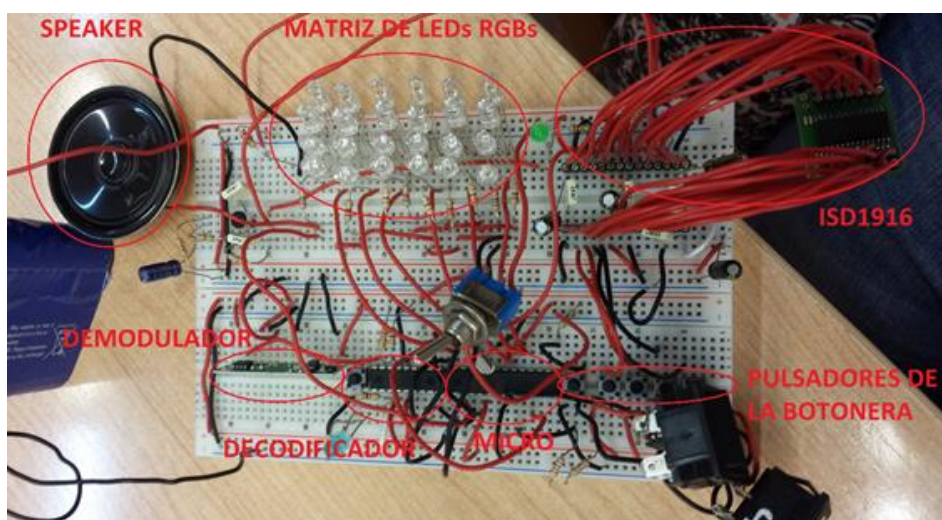


Figura 68. Pruebas definitivas

Todo el sistema estaba acabado y funcional en las placas de pruebas, pero se decide por razones obvias de robustez y funcionalidad trasladarlo a placas de

soldadura. Esto reduce el entramado de cables, que molestaba a la hora de introducir el circuito en la botonera, permite tener todo mejor fijado, ahorra la posibilidad de que se suelte algún cable y logra un acabado mucho más limpio y elegante. Además, para todos los integrados se han utilizado zócalos, de manera que se pueda cambiar cualquier componente en caso de avería.

El traspaso de todo el circuito anterior a placas de soldadura se muestra en la Figura 69 plasmando la situación en distintos momentos de su implementación.

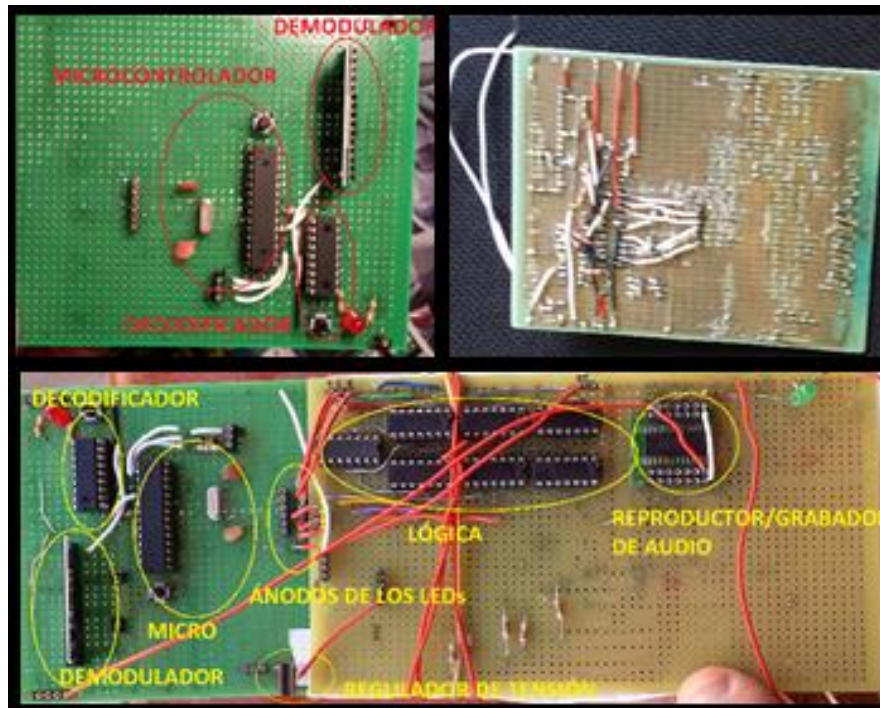


Figura 69. Distintas fases del proceso de soldado

Y el resultado final aparece en la Figura 70:

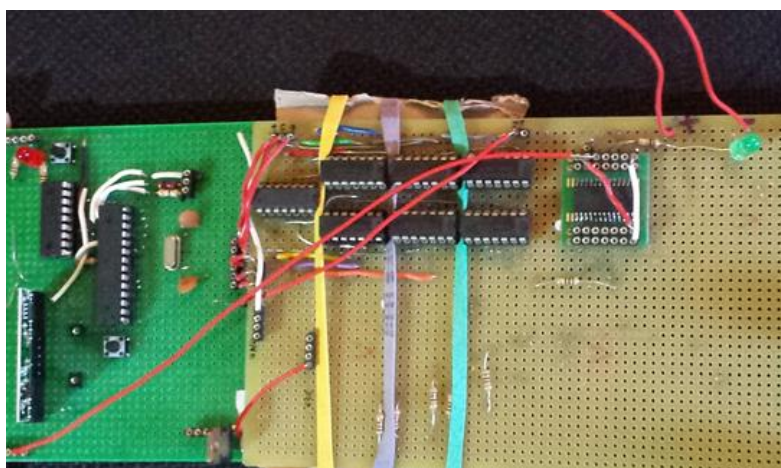


Figura 70. Montaje final en placa de soldadura

Si bien se podría haber utilizado sólo una placa de soldadura, se ha dividido el circuito en dos placas diferentes por razones de organización de trabajo entre los dos

integrantes del grupo de proyecto, de esta forma se podía dividir el trabajo e ir soldando dos partes de forma simultánea, optimizando tiempos y pruebas.

Dado que muchos de los componentes no tienen biblioteca disponible en Orcad con su funcionamiento y con una huella de los mismos, de haber elegido la opción de realizar la electrónica en PCB habría sido necesario crear la huella de la gran mayoría de los integrados y esto, junto con el diseño de todo el layout, habría implicado demasiado tiempo así que, a pesar de ser sin ninguna duda la solución más elegante, se ha descartado por considerar a las placas de soldadura una solución mucho más rápida e igual de funcional.

3.4 Pruebas de comunicación correcta desde el mando

En la Figura 71 se muestra el montaje con el que se realizan las pruebas de funcionamiento de la transmisión.

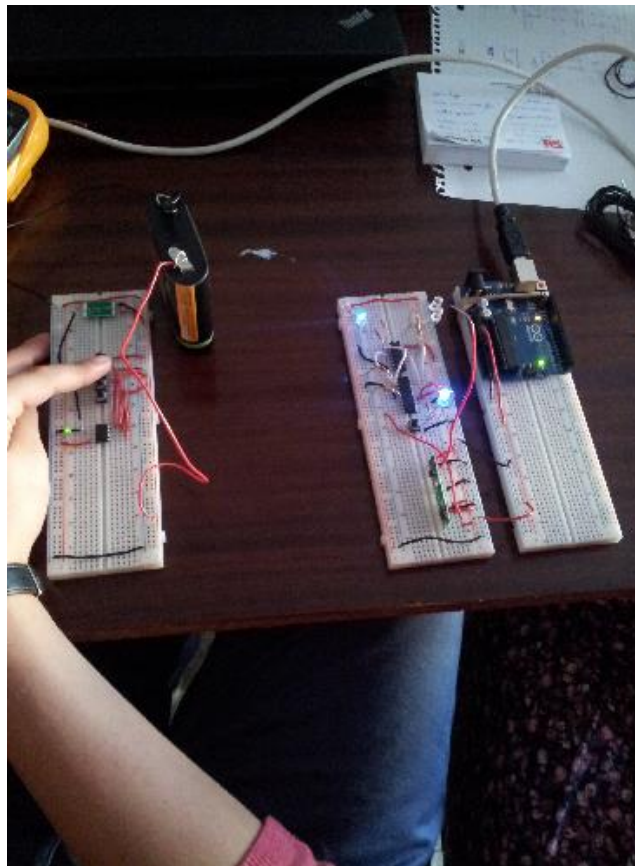


Figura 71. Pruebas de alcance

Para realizar estas pruebas, se parte de un sistema simplificado con 4 botones en el mando y 4 LEDs en la pantalla. Al pulsar un botón, se encenderá el LED correspondiente en el mando (a parte del LED que sirve para indicar que se están recibiendo datos). El sistema funcionó al primer intento, y el único problema destacable fue el corto alcance que se tenía en ausencia de antenas, problema que se solventó al colocar las antenas calculadas en la [sección 2.2.3.1](#)

Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final

4.1 Pruebas desarrolladas

4.1.1 Funcionamiento satisfactorio de los modos de juego

Se probó el funcionamiento de ambos modos de juego en el laboratorio, como se puede observar a continuación:

Probando MDJ1 (Figura 72):



Figura 72. Probando MDJ1

<https://www.youtube.com/watch?v=o-boAzJcsa0&feature=youtu.be>

Como se puede observar en el video, el audio de las casillas violeta y verde no funcionó en estas primeras pruebas. Tras comprobar la continuidad, pudo comprobarse que había una conexión entre la lógica y el ISD1916 que estaba suelta. Solventado el problema el sistema ya funciona correctamente.

Probando MDJ2 (Figura 73):



Figura 73. Probando MDJ2

https://www.youtube.com/watch?v=8_YyZw_BOo&feature=youtu.be

Un problema detectado en el MDJ2 es que cuando está la pantalla mostrando la secuencia de colores que se debe acertar, suena un leve pitido al iluminarse algunas de las casillas. Una posible causa es que parte de la señal de los Áodos se esté colando en el ISD1916.

4.1.2 Medidas de alcances y pruebas de iluminación

Se realizaron pruebas del alcance de la RF en ausencia de antenas, con antena sólo en la pantalla y con antena en las dos pantallas, siendo los resultados los siguientes

- Sin antenas: *Alcance* $\approx 15\text{cm}$ (insuficiente)
En este caso había demasiadas interferencias debido principalmente a la maraña de cables sobre las placas de puntos. Fue clara la necesidad de sacar una antena que permita aislar la recepción de esa maraña de cables.
- Con antena en la pantalla: *Alcance* = 8.5 m (suficiente)
Video con las pruebas de alcance, 1 antena:
<https://www.youtube.com/watch?v=m2qdDkEDjxl&feature=youtu.be>
- Con las dos antenas: *Alcance* = 14.2 m (excesivo, podemos interferir con demasiados dispositivos)
Video con las pruebas de alcance, 2 antenas:
<https://www.youtube.com/watch?v=xrgsC5mRgCo&feature=youtu.be>

La Figura 74 muestra un pantallazo del osciloscopio midiendo la señal demodulada que sale del receptor de RF hacia el decodificador.

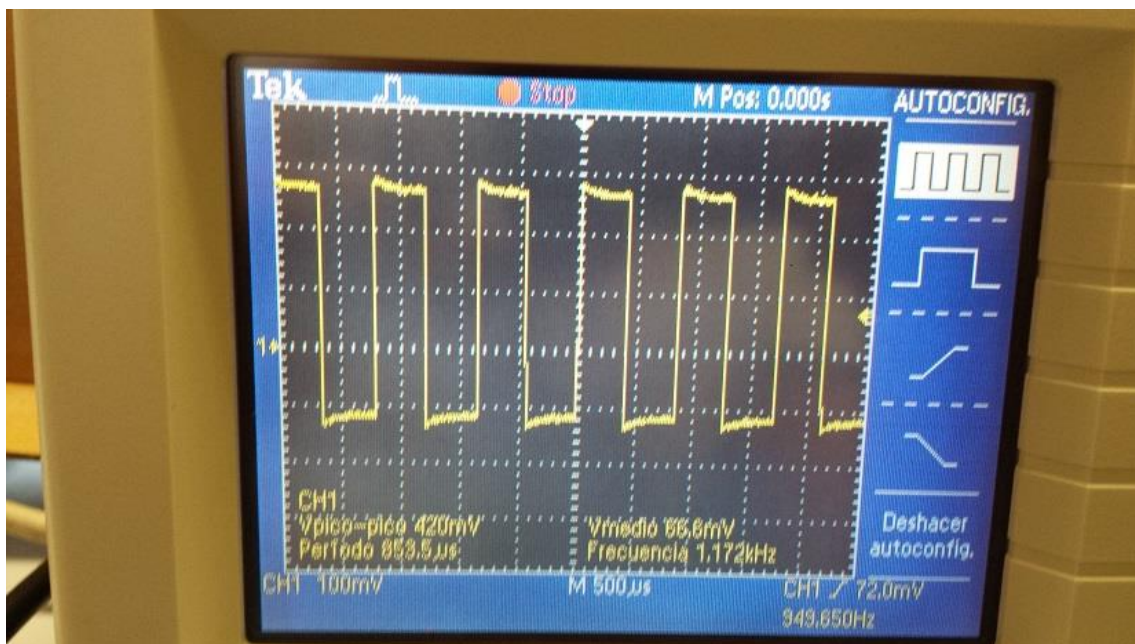


Figura 74. Señal demodulada (entrada del decodificador)

Tras estas pruebas pudimos comprobar que la iluminación de la pantalla requiere que la habitación tenga poca luz para poder distinguir bien los colores.

4.2 Pruebas en entorno real y con usuarios finales

A pesar de que fueron un éxito las pruebas de funcionamiento final en la Universidad, en el colegio no funcionó nada en un primer momento. Esto se debió a que en las pruebas se programó medio segundo de encendido y medio de apagado en cada casilla para no estar tanto tiempo esperando la secuencia, pero este valor se modificó antes de llegar al colegio a los 3 segundos de encendido y 3 de apagado que se requerían para los alumnos. Al cambiar el tiempo, no se tuvo en cuenta que esos 3 segundos también se añaden al final de la secuencia de colores, con lo que después de mostrar la secuencia a repetir, el sistema quedaba 3 segundos más sin ser capaz de responder a nada. Las primeras pulsaciones que se intentaron por los cuidadores, por ejemplo, se quedaban sin capturar por el sistema.

Se resolvió el problema cambiando el tiempo de espera entre encendidos a medio segundo. A partir de ese momento, las pruebas en el entorno real fueron totalmente satisfactorias. Se pudo comprobar que el dispositivo cumple con todas las expectativas, y al ver a un niño jugando quedó muy claro que el proyecto cumplirá con su finalidad durante su estancia en el colegio. La figura 75 muestra el sistema instalado en la sala del colegio en la que se realizaron las pruebas:



Figura 75. Pruebas del sistema en el centro realizadas en el centro

Se muestran a continuación videos de las pruebas en el colegio.

Probando MDJ1 en el colegio:

<https://www.youtube.com/watch?v=yphbtfqELSM>

Probando MDJ2 en el colegio:

<https://www.youtube.com/watch?v=GCH4vKCDjaM&feature=youtu.be>

Para poder realizar esta grabación, se empleó un flexo para iluminar el mando.

En las pruebas se pudo comprobar que el niño no presentaba demasiados problemas a la hora de seguir correctamente la secuencia en modo secuencial, pero sí se pudo ver que muchas veces pulsaba sin querer 2 veces el mismo pulsador al no poder controlar bien su movimiento. Evitar obtener el sonido de error y el afán por conseguir el premio al hacerlo bien, pueden ayudar también a corregir con el tiempo un poco ese déficit en el control de la movilidad del niño.

4.3 Presupuesto

A continuación se presenta el presupuesto total de la suma de ambos subproyectos. Lo que pertenece a la pantalla aparece con sombreado naranja.

Código	Unidades	Descripción	Medición	Precio Unitario	Precio Total
Subproyecto (1) Mando					
Capítulo 1. Materiales y construcción mecánica del mando					
01.01	1	Bobina de plástico ABS Filamento de plástico ABS amarillo de 1.75mm. 1 Kg	Ud.	17,95€	17,95€
01.02	2	Recipiente de PoliPropileno	Ud.	3€	6€
01.03	6	Conector Jack Conector Jack 3,5mm aéreo hembra de 3 polos.	Ud.	0,66€	3,96€
01.04	1	Portapilas Carcasa portapilas para 3 pilas AA cableada y con interruptor	Ud.	1,57€	1,57€
01.05	1	Imprimación universal Selladora universal Brugger 250ml	Ud.	5,65€	5,65€
01.06	4	Esmalte sintético De Tintanlux, 125ml. En varios colores: azul, mora, bermellón y amarillo real	Ud.	4,95€	19,8€
01.07	1	Pegamento Adhesivo sellador T-Rex cristal de 125ml	Ud.	6,95€	6,95€
01.08	1	Papel de aluminio Rollo de papel de aluminio Albal	Ud.	1,92€	1,92€
01.09	4	Tornillos Tornillo avellanado de 4cm, cabeza de estrella.	Ud.	0,16€	0,64€
Total Capítulo 1.1					64,44€
Capítulo 2. Componentes e implementación electrónica					
02.01	1	Microcontrolador ATmega 328P-PU de Atmel con bootloader, encapsulado DIP 28	Ud.	6,98€	6,98€
02.04	1	Cristal de cuarzo Oscilador de Cristal de cuarzo HC49 de bajo perfil de cuarzo con una frecuencia de 16 MHz	Ud.	0,52€	0,52€
02.02	1	Rf600e Codificador, IC, encoder Keeloq, DIP8	Ud.	3,46€	3,46€
02.04	1	AM-RT4-433 Transmisor de RF, AM, 433MHz	Ud.	8,11€	8,11€
02.05	3	Interruptores Interruptor basculante de 2 posiciones negro	Ud.	0,83€	2,49€
02.05	6	Pulsadores Pulsadores panel encastrar cuadrado 1NA ROJO	Ud.	0,785€	4,71€
02.06	24	LED blanco LED de Alta luminosidad. Diámetro 5mm	Ud.	0,65€	15,6€
02.07	1	LED verde	Ud.	0,4€	0,4€
02.08	16	Resistencias de 1/4W Resistencias de diferentes valores	Ud.	0,04€	0,64€
02.09	2	Condensadores de 22pF	Ud.	0,051€	0,1€

		Condensadores cerámicos de 22pF			
02.10	1	Pilas alcalinas Pack de 4 pilas AA Energizer Ultra Plus	Ud.	5,65€	5,65€
02.11	1	Placa de puntos Placa C.I 2 cuadrados 100X160MM	Ud.	7€	7€
02.12	1	Zócalo para DIP 28 Zócalo para integrados DIP 28	Ud.	0,5€	0,5€
02.13	1	Zócalo para DIP 8 Zócalo para integrados DIP 8	Ud.	0,45€	0,45€
02.14	2	Funda termorretráctil Tramo de 1200mm. 1,2mm de diámetro. En colores rojo y negro	Ud.	1,50€	3€
Total Capítulo 1.2					59,61€
Total subproyecto 1					124,05€
Subproyecto (2) Pantalla					
Capítulo 1. Materiales y construcción mecánica de la pantalla					
01.01	3	Tablones contrachapado 120x60 cm Tablas de madera de contrachapado de 120x60cm con 5 cm de espesor	Ud.	7,65€	22,95€
01.02	1	Imprimación madera Imprimación blanca para madera de la marca Luxens de 0,5L	Ud.	6,10€	6,10€
01.03	1	Pintura verde pistacho Pintura verde pistacho de la marca Luxens para mobiliario interior de 0,75L	Ud.	9,95€	9,95€
01.04	1	Pintura negra Esmalte sintético de color negro de la marca Titanlux de 125ml	Ud.	4,95€	4,95€
01.05	2	Adhesivo Cola adhesiva "No más clavos" de Pattex	Ud.	11,75€	23,5€
01.06	1	Barra reparadora de madera Super barra reparadora de madera "ceys"	Ud.	5,50€	5,50€
01.07	2	Bisagras Bisagras de latón cuero de 60x40mm	Ud.	2,45€	4,9€
01.08	1	Aldaba Aldaba de hierro latonado de 60mm	Ud.	2,65€	2,65€
01.09	1	Papel de embalar Rollo de papel de embalar blanco de 1x4m	Ud.	2€	2€
01.10	1	Papel de acetato 6 folios de papel de acetato tamaño Din A 4	Ud.	0,60€	0,60€
01.11	1	Cartulina metalizada Pack con 10 cartulinas metalizadas	Ud.	1,50€	1,50€
01.12	6	Pulsadores Pulsadores panel encastar redondo 1NA ROJO	Ud.	0,785€	4,71€
01.13	3	Conmutador basculante 2P 2C Conmutador basculante de tecla nueva con 2 posiciones y 2 circuitos	Ud.	1,82€	5,46€
01.14	1	Conmutador palanca pequeño 2P 1C Conmutador de palanca pequeño de 2 posiciones y 1 circuito con caja de acero inoxidable, palanca de latón cromado y roscado de latón niquelado	Ud.	1,04€	1,04€
01.15	1	Micrófono electret Micrófono omnidireccional con respuesta de 50Hz-16000Hz de 6mm de la marca PRO SIGNAL	Ud.	0,91€	0,91€
01.16	1	Conector Jack Conector jack 3,5mm hembra con el capuchón de plástico de 3 polos y con conexiones a soldas	Ud.	0,66€	0,66€
01.17	24	Diodos LED 5mm CLEAR RGB 35° Diodos led de 5 mm de alta luminosidad transparente con colores rojo, verde, azul, apertura de 35o y ánodo común	Ud.	0,74€	17,76€
01.18	1	Clavos Paquete de 150 clavos con cabeza de 11mm	Ud.	3,60€	3,60€
Total Capítulo 2.1					118,74 €
Capítulo 2. Componentes e implementación electrónica					
02.01	1	Microcontrolador ATmega 328P-PU	Ud.	6,98€	6,98€

		Microcontrolador ATmega 328P-PU de Atmel con bootloader, encapsulado DIP 28			
02.02	1	Cristal de Cuarzo Oscilador de Cristal de cuarzo HC49 de bajo perfilde cuarzo con una frecuencia de 16 MHz	Ud.	0,52€	0,52€
02.03	2	Condensadores de 22pF Condensadores cerámicos de 22pF	Ud.	0,13€	0,26€
02.04	1	AM-HRR3-433 Receptor de RF, AM, 433MHz	Ud.	13,85€	13,85€
02.05	1	RF600D Decodificador, IC con encapsulado DIP18	Ud.	5,15€	5,15€
02.06	1	LED LED rojo	Ud.	0,4€	0,4€
02.07	6	CD4072B Puertas OR, 2 por IC de 4 entradas en encapsulado DIP 14	Ud.	0,39€	2,34€
02.08	1	74LS04 Puertas NOT, 6 por IC en encapsulado DIP 14	Ud.	0,42€	0,42€
02.09	1	ISD1916 Reproductor/grabador de voz con capacidad de hasta 32 segundos y 8 divisiones.	Ud.	4,75€	4,75€
02.10	20	Resistencias de 1/4W Resistencias de diferentes valores	Ud.	0,04€	0,8€
02.11	4	Condensador de 0,1 uF Condensadores de poliéster de 0,1 uF	Ud.	0,2€	0,8€
02.12	2	Condensador de 10 uF Condensadores electrolíticos de 10uF	Ud.	0,21€	0,42€
02.13	2	Condensador de 4,7 uF Condensadores electrolíticos de 4,7uF	Ud.	0,21€	0,42€
02.14	1	Placa de puntos Placa C.I. 2 cuadrados 100X160MM	Ud.	7€	7€
02.15	1	Placa de puntos Placa C.I. cuadrados 160X100mm.	Ud.	7€	7€
02.16	1	Zócalo 28 Zócalo para integrados DIP 28	Ud.	0,5€	0,5€
02.17	1	Zócalo 18 Zócalo para integrados DIP 18	Ud.	0,99€	0,99€
02.18	7	Zócalos 14 Zócalos para integrados DIP 14	Ud.	0,54€	3,78€
02.19	2	Funda termorretráctil Tramo de 1,50m. 1,2mm de diámetro. En colores rojo y negro	Ud.	0,75€	1,50€
02.20	1	Conectores regleta 2,54mm pin torneado hembra recta corta 40 contactos	Ud.	1,32€	1,32€
02.21	1	Fusible Fusible de 5x20 de 2A y 250V	Ud.	0,12€	0,12€
02.22	1	Portafusibles Portafusibles de circuito impreso para fusibles de 5X20 mm y hasta 6,3A	Ud.	0,17€	0,17€
02.23	1	Adaptador de corriente TRUST Adaptador de corriente la marca TRUST con tensión de salida ajustable 100-240V 50/60Hz a 9.5/12/14/16/18.5 V, 1.5A-3.5A y conector ajustable.	Ud.	24,99€	24,99€
Total Capítulo 2.2					86,96 €
Total subproyecto 2					205,7€
Gastos comunes					
01.01	1	ARDUINO Placa ARDUINO UNO REV3	Ud.	21€	21€
TOTAL					
350,75€					

Como podemos comprobar, se ha logrado con creces el objetivo de bajo coste, consiguiendo un sistema con un coste muy inferior a otras ayudas técnicas similares del mercado, como las vistas en la [Sección 1.1.3](#).

No estamos incluyendo los honorarios por tratarse el sistema de una entrega académica, pero para cumplir con la formalidad que debe tener un presupuesto, se incluyen a continuación los honorarios de los ingenieros del proyecto, coste que no se cargará al colegio:

Tomando como referencia el salario por hora de un ingeniero superior en proyectos de la Universidad Carlos III de Madrid : 20,5 €/hora

Cargas económicas:

Seguridad Social: 27%

Desempleo: 1,5%

Coste hora total: 26,3425 €/hora

Desglose en número de horas de cada tarea del proyecto:

TAREA	Nº HORAS	COSTE/HORA	COSTE TOTAL
DISEÑO Y PRUEBAS	60	26,3425	1580,55
FABRICACIÓN	140	26,3425	3687,95
DOCUMENTACIÓN	30	26,3425	790,275
PRUEBAS FINALES	3	26,3425	79,0275

TOTAL 6137,8025 €/ingeniero * 2 ingenieros = 12.275,605€

Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras

5.1 Conclusiones

Se ha conseguido completar el proyecto con resultados muy satisfactorios. Por un lado, se pudo comprobar que los niños sabían cómo actuar ante lo que pedía el juego y que reaccionaban ante las respuestas audiovisuales de premio y de fallo, viendo una clara interacción entre el jugador y el juego. Se logra por lo tanto potenciar la relación causa-efecto en los niños, que era uno de los objetivos principales.

Por otro lado, era también indispensable que todo esto se lograra con el menos coste posible, objetivo que sin duda se ha logrado si consideramos el presupuesto obtenido de 328,51€, y el coste que tienen en el mercado ayudas técnicas similares a la nuestra, como la de Handycat [2], que tiene un precio de 4606,9€.

Además, todo lo anterior se ha logrado cumpliendo al mismo tiempo con las especificaciones impuestas por el centro.

A nivel didáctico, se han aplicado diversos conocimientos de la carrera, pero lo que es más importante, se han adquirido muchos conocimientos nuevos de electrónica, y se ha tenido la posibilidad de aplicar por primera vez esos conocimientos al “mundo real”.

Pero sin duda lo más gratificante ha sido aplicar esos conocimientos ayudando a personas con discapacidad, haciendo un dispositivo diseñado para los niños del centro, que no pueden acceder a todos los medios tecnológicos disponibles en el mercado.

5.2 Líneas futuras

Una buena optimización de cara al futuro sería pasar toda la electrónica a una PCB, lo que eliminaría el lío de cables lo cual facilitaría el acceso a los dispositivos en la placa para futuras modificaciones/reparaciones, y mejoraría el alcance de la RF al eliminar buena parte de las interferencias, lo que podría incluso permitir prescindir de la antena.

Una vez completado el sistema, se pudo comprobar que la luz y el color de las casillas sólo se advierten si la sala está en penumbra, siendo difícil verlos en una habitación bien iluminada. Por ello, una buena mejora sería incorporar un sistema de retroiluminación que ajuste la iluminación de las casillas en función de la luz ambiente para facilitar el visionado.

A pesar de ser un proyecto muy personalizado y por tanto estar bastante cerrado a agregados funcionales, se podría pensar en poner en futuras actualizaciones del sistema un conjunto de 2 botones de mando que permitan a los profesores el ajuste dinámico de los colores mostrados por cada casilla sin necesidad alguna de reprogramar el micro. Estos botones de mando se conectarían cada uno a una entrada analógica del micro diferente, y se usaría el valor registrado por esa entrada para ajustar los valores de las señales PWM. Con programación se controlaría que para cada casilla el ajuste afecte de una forma distinta, para lograr así que en cada casilla se siga viendo un color diferente.

Se podría pensar en una mejora similar para el audio. Podríamos poner un conjunto de pulsadores, cada uno asociado a una nota musical, con los cuales los profesores podrían crear la secuencia de notas que quieran para los sonidos de premio y fallo en el MDJ2. Puede parecer inviable por el número de pines que requeriría en el microcontrolador, pero la realidad es que sólo se necesitarían 2 entradas analógicas, con una se podría decidir si la secuencia a grabar es para acierto o para fallo, y con la otra se introducirían las notas. Para poder distinguir distintas notas con una única entrada analógica, se asocia un nivel de tensión distinto a cada nota, haciendo divisores de tensión como se muestra en la Figura 76 [16].

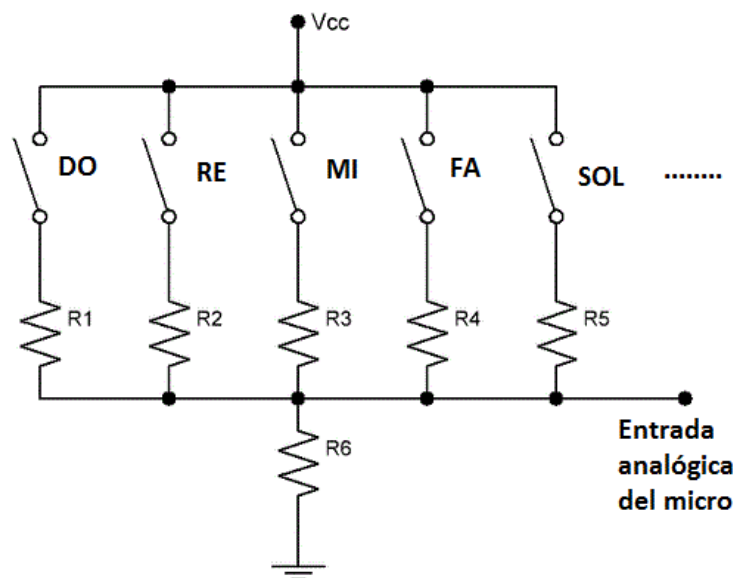


Figura 76. Introducir sendas notas musicales por una misma entrada del micro [13]

Todas las notas se almacenarían por programación en un array.

Otra mejora de cara al futuro sería estudiar la posibilidad de lograr el funcionamiento del sistema usando un único microcontrolador, lo que ahorraría tener que operar 2 interfaces cada vez que se quiera modificar la configuración del juego. En

el apartado 2.2.3 del proyecto de Alba Rodríguez Lorente [6] se explica por qué no se implementa esta mejora.

Bibliografía

- [1] Página web: <http://www.fundaciononce.es/SiteCollectionDocuments/Publicaciones/DISEOPARATODOSUnconjuntodeinstrumentos.pdf> [16/06/2014]
- [2] Página web: http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_universal [8/05/2014]
- [3] Página web: http://www.optimastudio.com/disenosparatodos/grifo_monomando.php
- [4] Página web: <http://www.handycat.com>
- [5] Página web: <http://www.edu.xunta.es/centros/cfrcoruna/aulavirtual/file.php/108/Causa-efecto.pdf>
- [6] Alba Rodríguez Lorente. *Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (11): Mando y panel multisensorial interactivo (1)*. 2014
- [7] Página web: http://www.ross.com.es/ross01/pdf-fullwat/diodos_led.pdf [17/10/2013]
- [8] Página web: http://es.farnell.com/rf-solutions/am-hrr3-433/rf-module-receiver-am-433mhz/dp/1201008?CMP=os_Google-UK_ProductDetail_Redirect [1/10/2013]
- [9] Página web: <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage> [5/11/2014]
- [10] Página web: <http://arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>
- [11] Página web: <http://arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>
- [12] Página web: <https://paruro.pe/aprende/arduino/es-digitales/arduino-digital-tono>
- [13] Página web: http://es.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3fono_omnidireccional
- [14] Página web: <http://www.thedebugstore.com/x-cart461/Xeltek-SuperPro-6000E-Universal-Programmer.html> [14/01/2014]

[15] Página web:

<http://www.etnassoft.com/biblioteca/manual-de-programacion-arduino/>

[16] Página web:

<http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/varios-pulsadores-por-linea-de-entrada-en-arduino.html#> [15/06/2014]

Hojas de características:

- ATmega 328P-PU:
<http://www.atmel.com/Images/8161s.pdf>
- RF600D:
<http://www.circuitstoday.com/wp-content/uploads/2009/03/RF600D.pdf>
- AM-HRR3-433:
<http://www.farnell.com/datasheets/56732.pdf>
- L7805:
<http://www.farnell.com/datasheets/1805459.pdf>
- ISD1916:
<http://www.gaw.ru/pdf/Winbond/isd/ISD1916a.pdf>
- 74LS04:
<http://ecee.colorado.edu/~mcclurel/sn74ls04rev5.pdf>
- CD4072B:
<https://www.ee.iitb.ac.in/uma/~wel/wel12/Components%20Records/digital%20ic%20datasheet/cd4072.pdf>
- MC145026/MC145027
http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/data_sheet/MC145026.pdf
- PRO SIGNAL - ABM-713-RC - MICRÓFONO ELECTRET
<http://www.farnell.com/datasheets/1505849.pdf>

Anexos

Anexo 1. Manual de usuario

Manual de instrucciones

Mando y panel multisensorial interactivo

Universidad Carlos III de Madrid
Javier Ramos Nodal y Alba Rodríguez Lorente

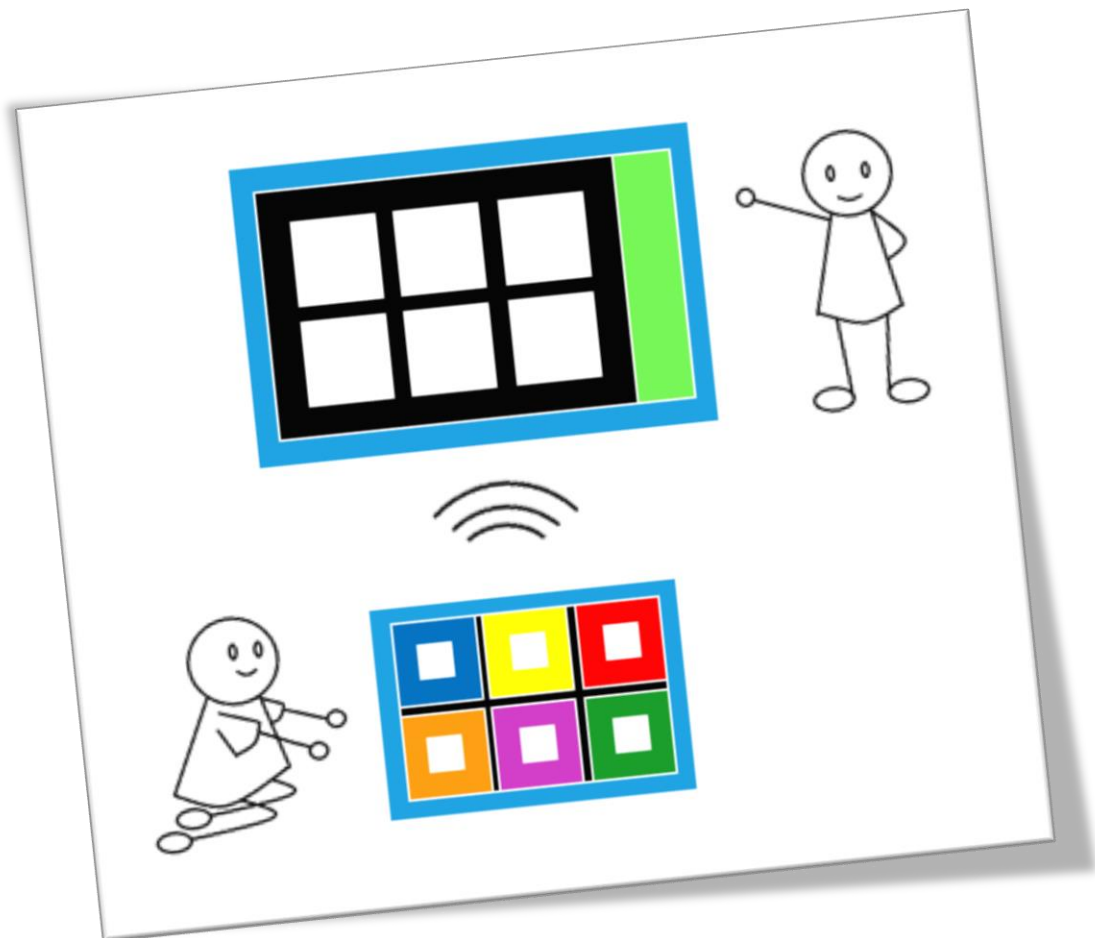


Figura 77. Portada del manual de instrucciones

Anexo 1.1 Contenido

El juego consta de un panel o Pantalla y un mando inalámbrico. Los altavoces no están incluidos en el diseño pero son necesarios para jugar (Figura 78).



Figura 78. Pantalla y mando

La **pantalla** incorpora:

- Interruptor de On/Off
- 2 interruptores de modos (Juego y Funcionamiento)
- Micrófono
- Palanca selectora de Play/Rec
- 6 Pulsadores de acceso al audio (1 por color)
- Entrada de audio
- Entrada de alimentación

El **mando** incorpora:

- El interruptor de On/Off
- 2 interruptores de modos (Juego y funcionamiento)
- 6 pulsadores de colores con luz (accesibles también mediante Pulsador por jack)
- Carcasa portapilas
- LED de alarma del nivel de batería
-

Anexo 1.2 Para jugar

Hay 3 tipos de mandos en el juego para interactuar con él.

- **Interruptores:** de On/Off y modos. Para activarlos hay que empujar la parte sobresaliente hacia lo que quieres marcar (Figura 79):

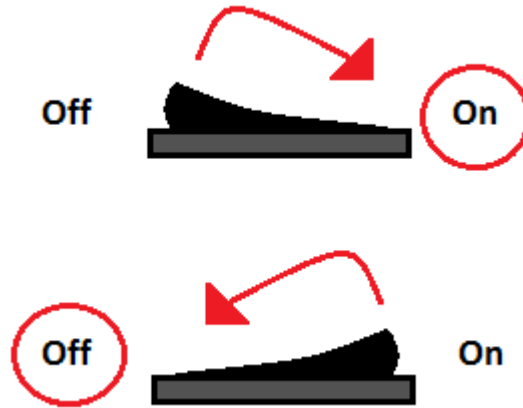


Figura 79. Ejemplo de accionamiento de los interruptores

En la pantalla están colocados en vertical y en horizontal en el mando.

- **Palancas:** hay que ponerla apuntando a lo que quieres activar (Figura 80):

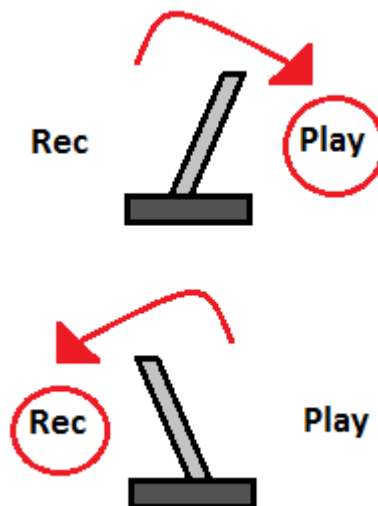


Figura 80. Accionamiento de la palanca

- **Pulsadores:** basta con presionarlos para activarlos

Anexo 1.2.1 Encendido

Hay que poner tanto el mando como la pantalla en la posición ON del interruptor correspondiente (Figura 81). Los interruptores del mando se encuentran ocultos en la cajetilla.

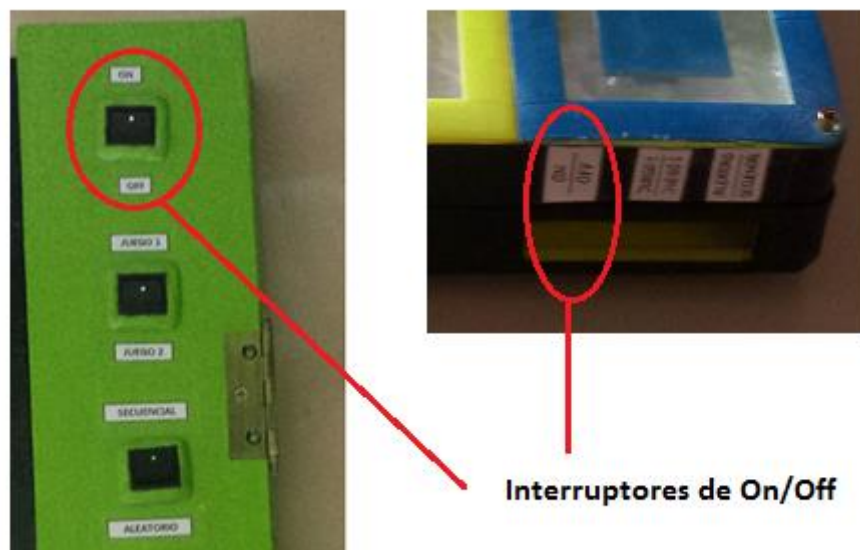


Figura 81. Interruptores On/Off

Anexo 1.2.2 Modos de Juego

a- Juego 1:

Una de las casillas del mando se iluminará pidiendo ser pulsada. Cuando el niño acierte, la casilla correspondiente al mismo color en la pantalla se iluminará durante 3 segundos y se reproducirá el mensaje de voz guardado para ese color (ver “3.1 Grabación de voz”).

Es NECESARIO poner tanto en la pantalla como en el mando el interruptor de Modo de Juego hacia JUEGO 1 (Figura 82).

b- Juego 2:

La pantalla es la que se ilumina mostrando una cadena progresiva de colores de longitud 1 a 6 que el niño deberá reproducir en el mando. De este modo una de las casillas de la pantalla se iluminará (ej.: naranja) y el juego quedará esperando la pulsación en la casilla naranja del mando.

- Si se acierta se le recompensará con un sonido de acierto. Tras esto la pantalla encenderá dos colores, aumentando en 1 la cadena comenzada (ej.: naranja - morado). Mientras que no se falle la cadena se irá incrementando hasta 6 colores, y después volverá a comenzar.

- Si se falla, un sonido de error indicará el fallo y se volverá a empezar desde el principio mostrando un solo color.

Es NECESARIO poner tanto en la pantalla como en el mando el interruptor de Modo de Juego hacia JUEGO 2 (Figura 82).

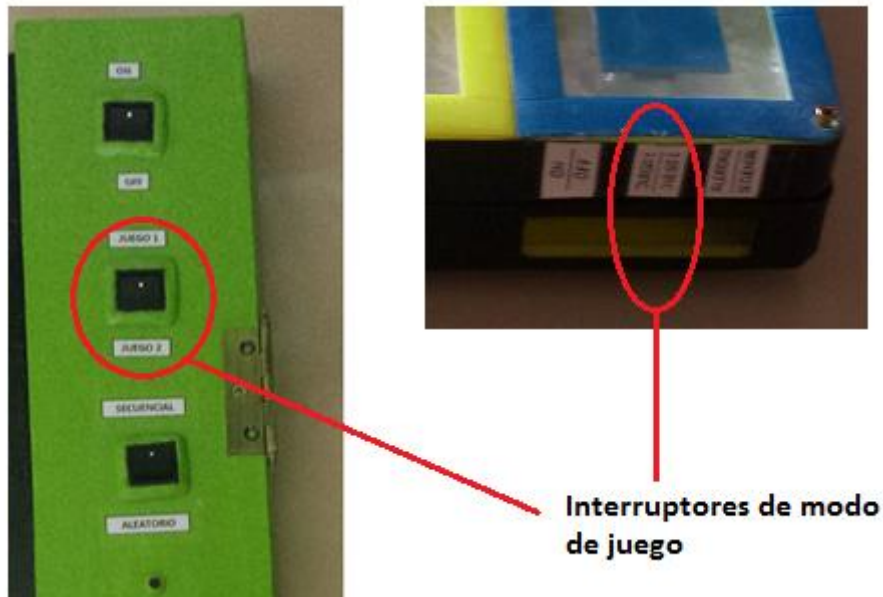


Figura 82. Interruptores de modo de juego

Anexo 1.2.3 Modos de funcionamiento

Cada uno de los dos modos de juego se puede jugar en modo secuencial o aleatorio (Figura 83).

a- Secuencial

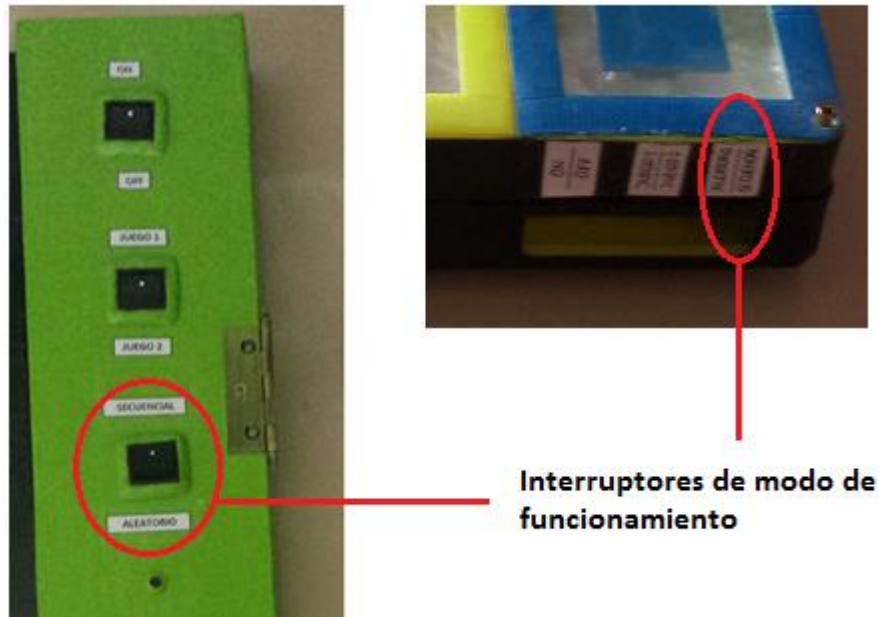
Los colores se iluminarán siguiendo la secuencia: **Azul** – **Amarillo** – **Rojo** – **Naranja** – **Morado** – **Verde**.

Para seleccionarlo: En el MDJ1, poner el interruptor de Modo de Funcionamiento del mando orientado hacia SECUENCIAL. En el MDJ2, igual pero con el interruptor de la pantalla.

b- Aleatorio

Lo colores se iluminarán aleatoriamente de entre los colores posibles, pudiendo repetirse más de una vez en el juego 2.

Para seleccionarlo: En el MDJ1, poner el interruptor de Modo de Funcionamiento del mando orientado hacia ALEATORIO. En el MDJ2, igual pero con el interruptor de la pantalla.



Interruptores de modo de funcionamiento

Figura 83. Interruptores de modo de funcionamiento

Anexo 1.3 Audio

Anexo 1.3.1 Mensajes de voz

El Juego 1 incluye la reproducción de los mensajes grabados en la pantalla. Se pueden grabar un máximo de 6 mensajes, uno por cada casilla (Figura 84).



Pulsadores de acceso al audio

Figura 84. Pulsadores de acceso al audio

Para grabar

- Seleccionar en la botonera de la pantalla la opción *Rec* moviendo la palanca 1 hacia la izquierda (Figura 85).

- Mantener pulsado el pulsador del color de la casilla en la que se quiere grabar mientras se introduce el mensaje por el micrófono.

Para reproducir

- Mover la palanca 1 de la botonera hacia la derecha apuntando a la opción *Play* (Figura 85).



Figura 85. Micrófono y palanca selectora de Play/Rec

El Juego 1 reproduce automáticamente el mensaje grabado cuando se acierta. En el caso de querer probar la grabación, se hará presionando brevemente el pulsador del color correspondiente en la botonera.

Anexo 1.3.2 Altavoces

- Conectar los altavoces en el único Jack de 3,5 mm que hay en la botonera (Figura 86).

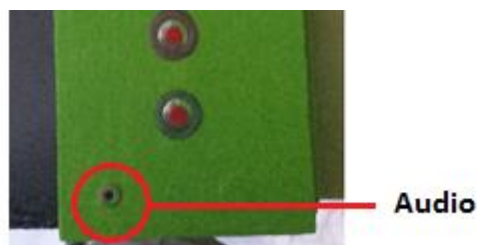


Figura 86. Puerto Jack de entrada para los altavoces

Anexo 1.4 Alimentación y pilas

Anexo 1.4.1 Pantalla

La pantalla se alimenta mediante un adaptador de corriente que se conectará a ella por el puerto Jack de 5,5 x 2,1 mm tipo s situado en la esquina inferior derecha (Figura 87).



Figura 87. Entrada de alimentación de la pantalla

Anexo 1.4.2 Mando

El mando se alimenta con 3 pilas AA a las que se accede por debajo con una tapa deslizante asegurada con un tornillo (Figura 88).

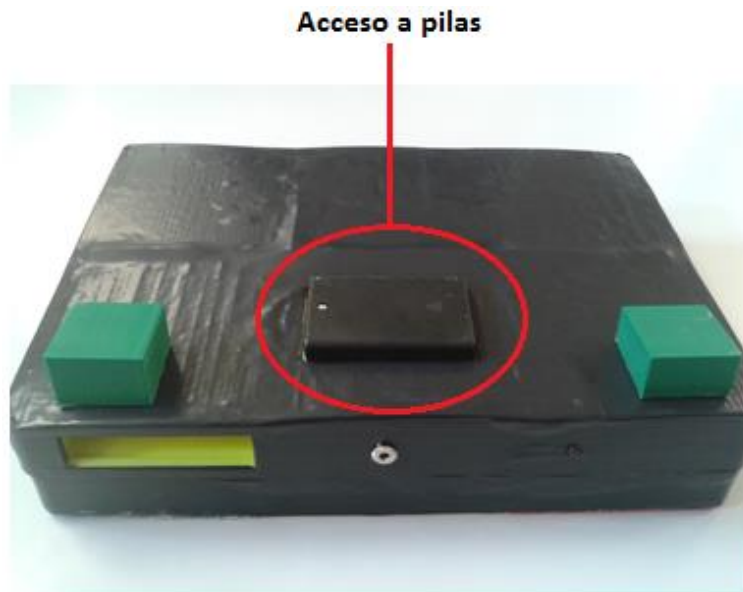


Figura 88. Acceso a la carcasa de las pilas

El nivel de la batería se comprueba con un LED que cambiará de color entre verde (nivel de batería correcto) y rojo (nivel bajo).

Anexo 1.5 Posibles problemas y sus soluciones

En la pantalla:

- Si no luce alguna casilla, revisar todos los cables blancos numerados de A1 a A6.
- Si cambia el color de alguna casilla, revisar que estén bien conectados los cables etiquetados como ROJO y AZUL.

- Si los pulsadores de grabación no funcionan, revisar los cables enumerados de P1 a P6.
- Si la pantalla no funciona, revisar el estado del fusible y que estén conectados todos los cables Vcc y GND en sus respectivos conectores
- Si no funciona el audio, comprobar la conexión del cable AUX

En el mando:

- Si no luce alguna casilla: destapar la parte superior, y revisar que allí los cables etiquetados desde el 2 al 13, están bien introducidos en el conector siguiendo las indicaciones de la etiqueta que lo acompaña.
- Si no funciona algún pulsador o no actúa como debe: destapar la parte superior y revisar que allí los cables del 14 al 19 están bien introducidos en el conector siguiendo las indicaciones de la etiqueta que lo acompaña. Si están correctamente conectados revisar que luce el led verde en la placa del circuito al pulsar, de no ser así revisar la conexión a alimentación del integrado situado al lado del led.
- Si los modos de juego y/o funcionamiento no responden de la manera esperada: destapar la parte superior y revisar que en la inferior los cables 21 y 22 respectivamente están conectados en los conectores del mismo número en la placa.
- Si no se enciende el led indicador de batería, abrir el mando y comprobar que todos los cables etiquetados como 1 llegan a su respectivo conector.

Anexo 2. Planos de piezas construidas

Anexo 2.1. Medidas de las piezas a recortar: base

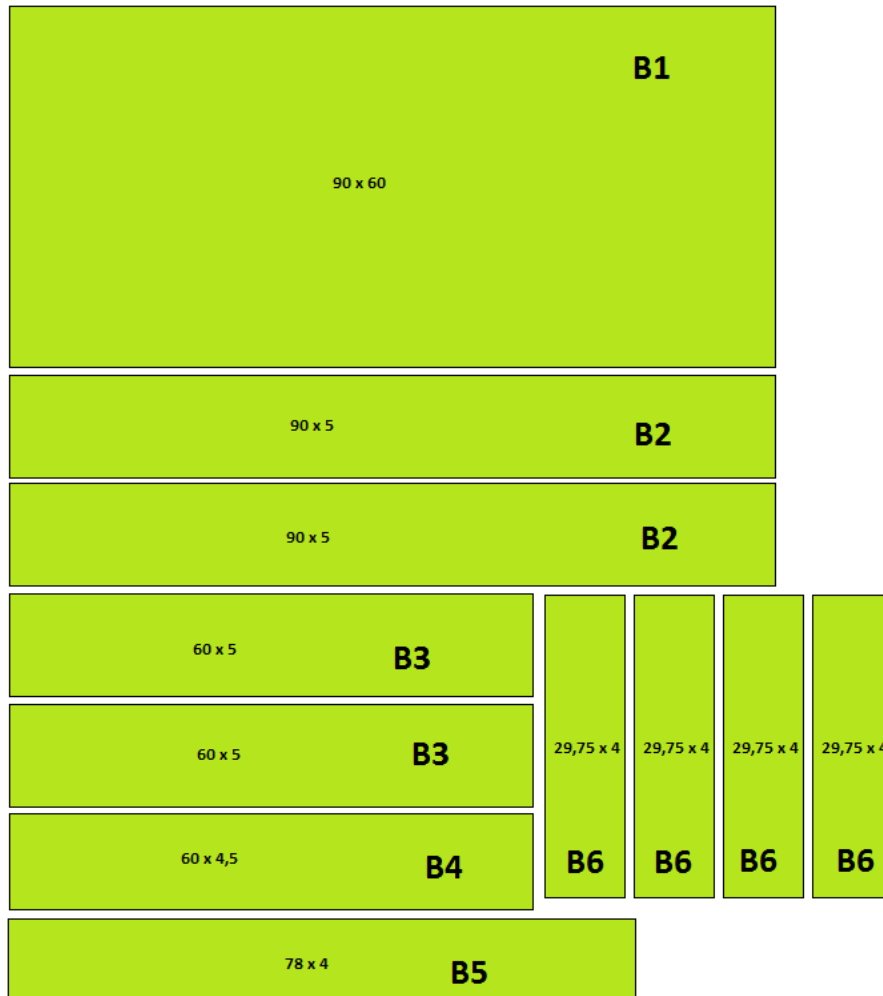


Figura 89. Tablas de la base

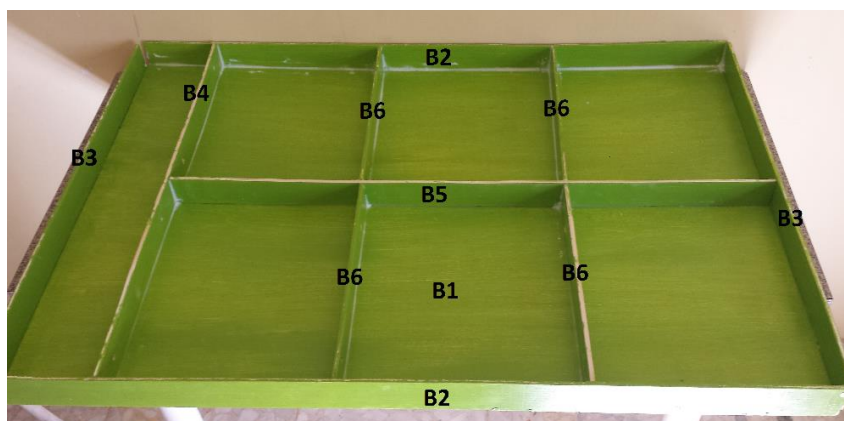


Figura 90. Base de la pantalla

[Volver a 2.2.1](#)

Anexo 2.2 Medidas de las piezas a recortar: bandeja

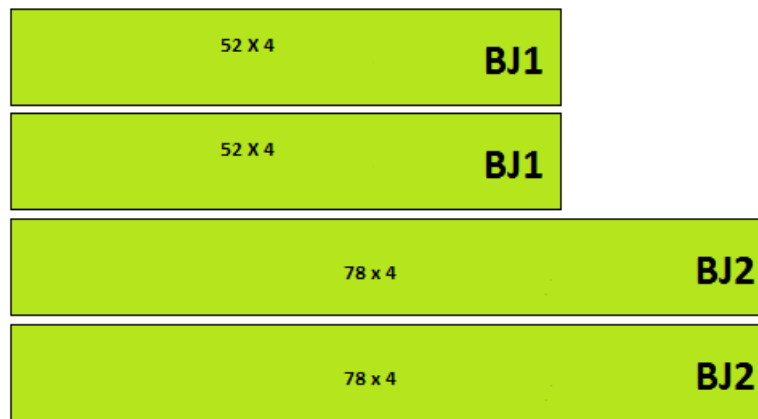


Figura 91. Tablas bandeja

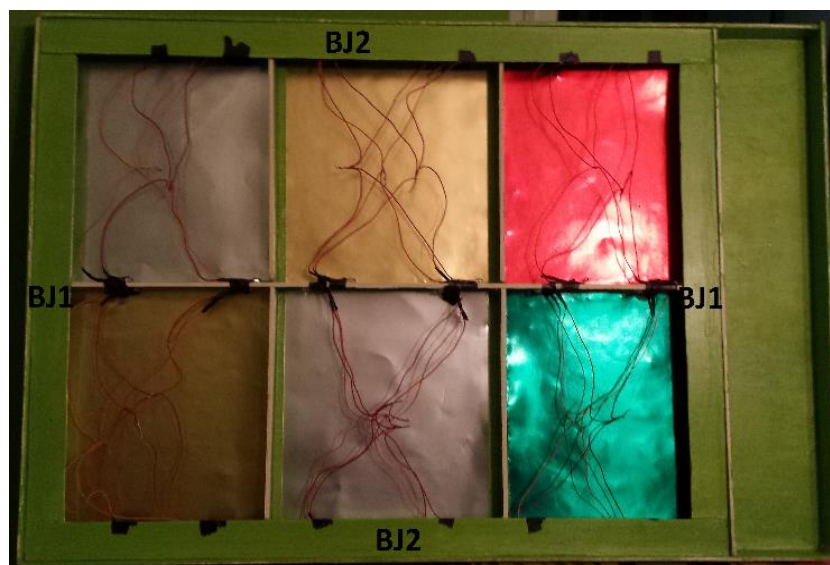


Figura 92. Base de la pantalla con la bandeja ya integrada

[Volver a 2.2.1](#)

Anexo 2.3 Medidas de las piezas a recortar: marco

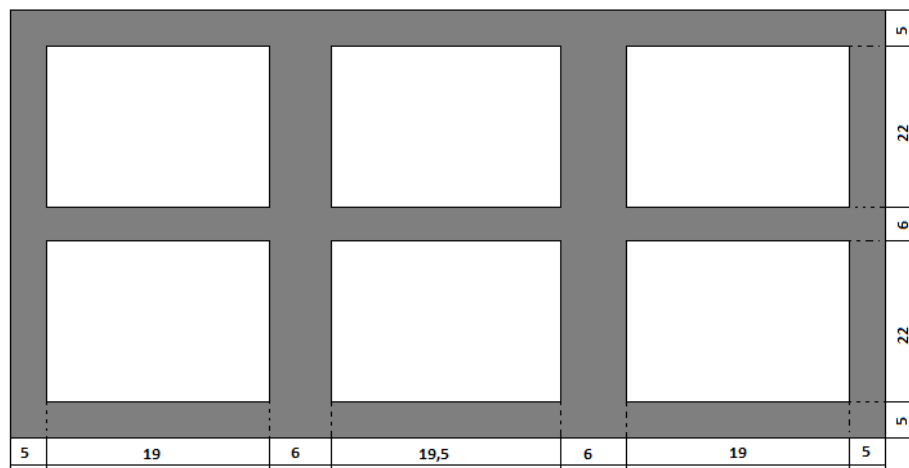


Figura 93. Medidas marco

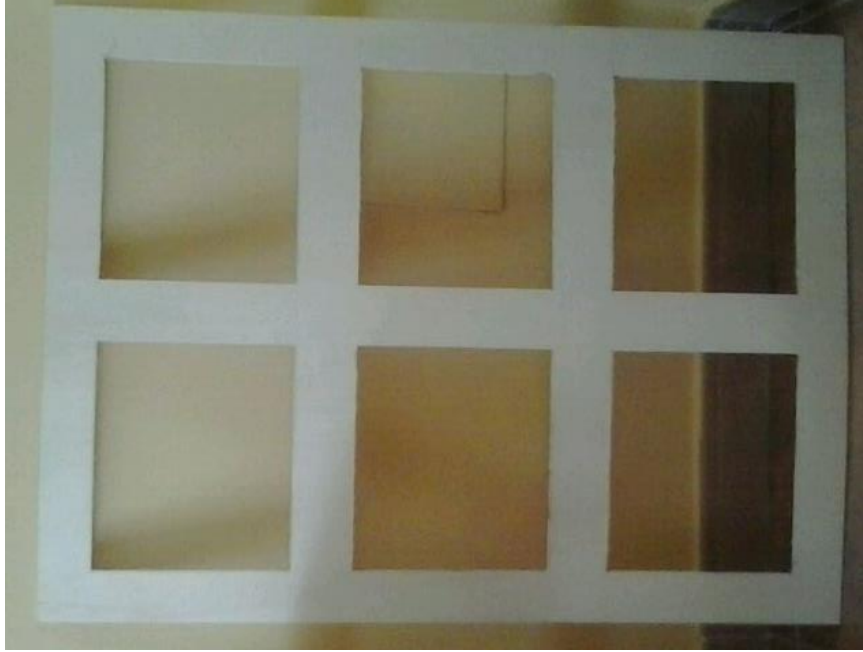


Figura 94. Marco de la pantalla

[Volver a 2.2.1](#)

Anexo 2.4 Medidas de las piezas a recortar: botonera



Figura 95. Medidas botonera

[Volver a 2.2.1](#)

Anexo 3 Esquemático del circuito

Anexo 3.1 Esquemático receptor de radiofrecuencia

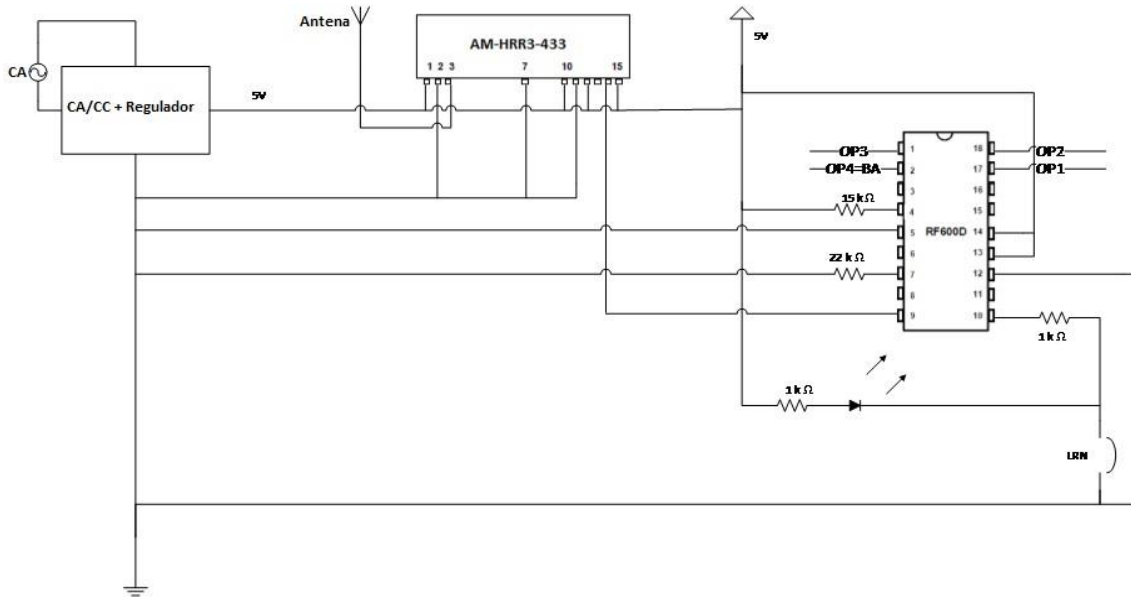


Figura 96. Receptor de RF

[Volver a la sección 2.2.3.2](#)

Anexo 3.2 Microcontrolador

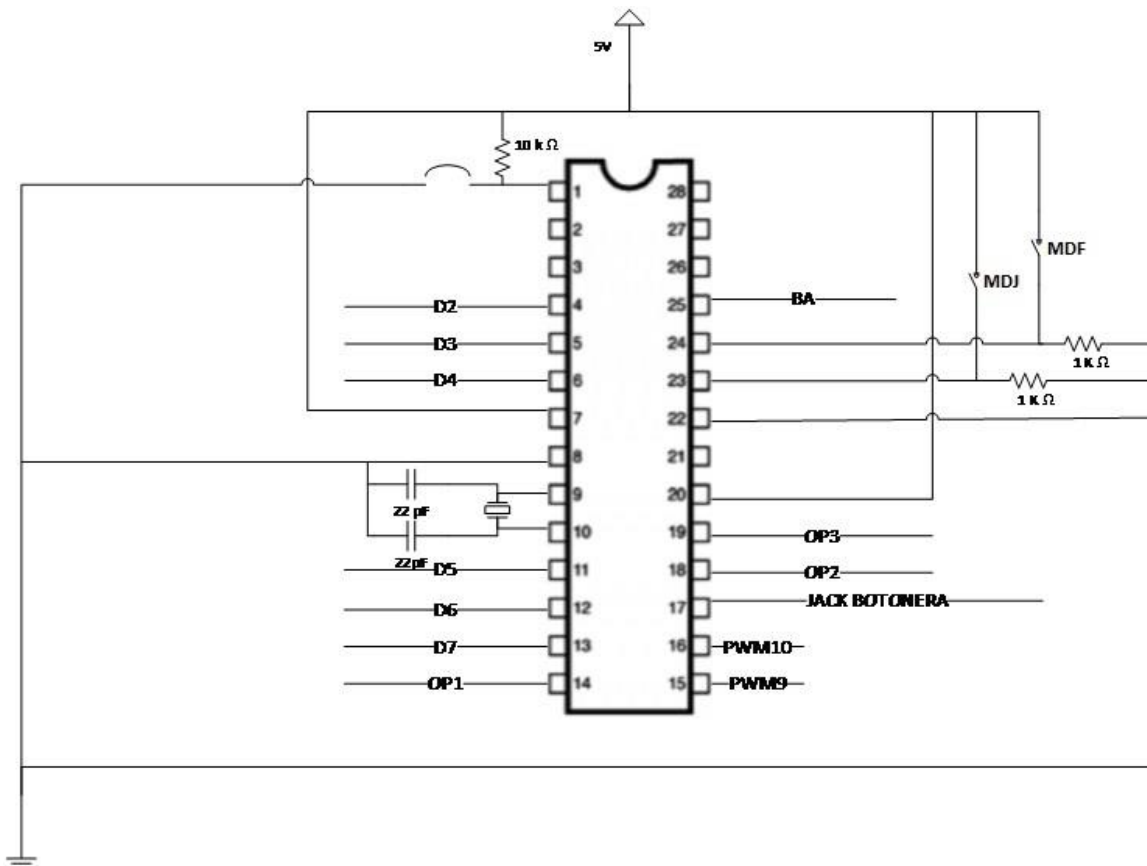


Figura 97. Microcontrolador

[Volver a la sección 2.2.4.3](#)

Anexo 3.3 Sistema de audio

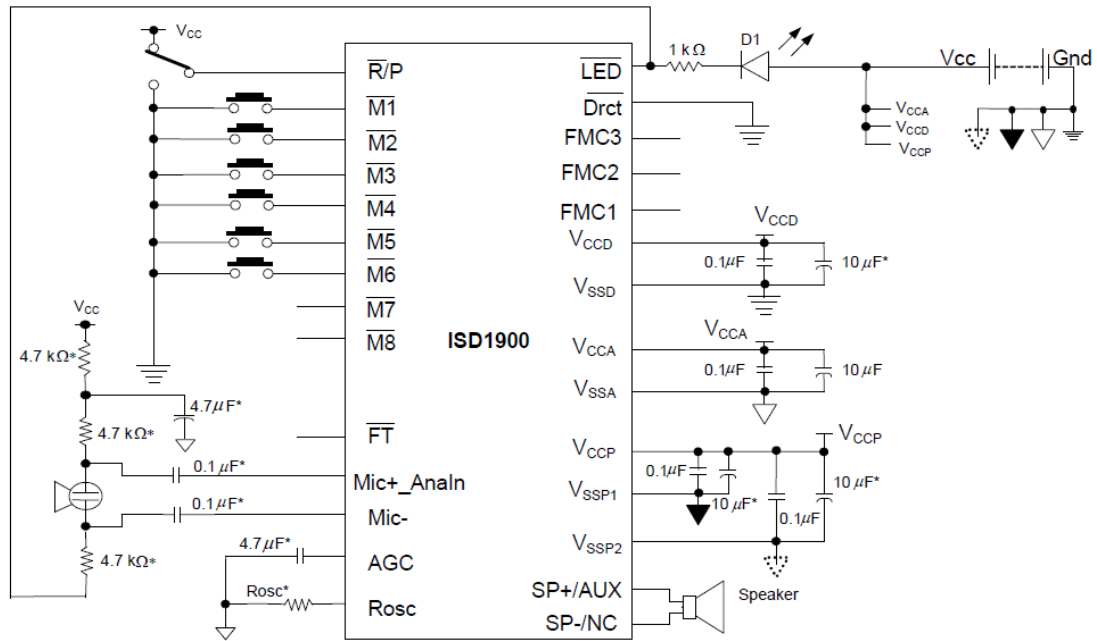


Figura 98. . Esquemático del ISD1916 (de la hoja de características ISD1916)

[Volver a la sección 2.2.5.1](#)

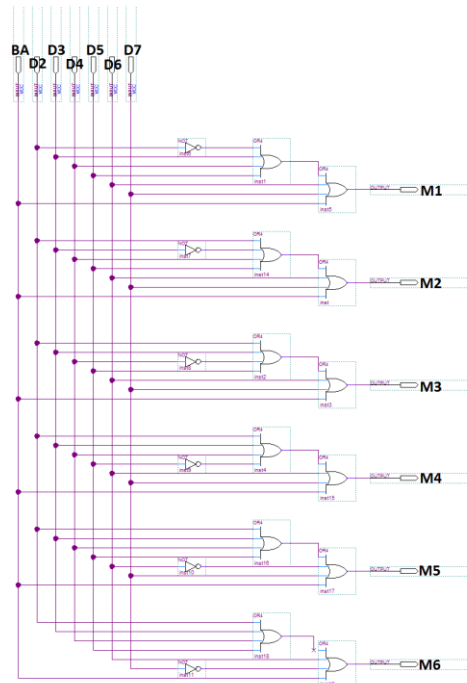


Figura 99. Lógica del audio

[Volver a la sección 2.2.5.2](#)

Anexo 4 Programación del microcontrolador

```
/* D9=ROJO
   D10=AZUL ó VERDE */
/*
#define high 900
#define low 100
*/

void NARANJA ()
{
  analogWrite (9,0);
  analogWrite (10,180); //VERDE
}

void VIOLETA ()
{
  analogWrite (9,50);
  analogWrite (10,125); //AZUL
}

void AMARILLO ()
{
  analogWrite (9,150);
  analogWrite (10,125); //VERDE
}

void ROJO ()
{
  analogWrite (9,0);
}

void VERDE ()
{
  analogWrite (10,0); //VERDE
}

void AZUL ()
{
  analogWrite (10,0); //AZUL
}
```

```

void APAGADO()
{
  //Cátodos
  analogWrite (9,255);
  analogWrite (10,255);

  //Ánodos
  digitalWrite (2,LOW);
  analogWrite (3,0);
  digitalWrite (4,LOW);
  analogWrite (5,0);
  analogWrite (6,0);
  digitalWrite (7,LOW);

}

/* Para seleccionar los LEDs de la casilla X usamos las patillas D2 a D7, siendo:
   D2,D4,D7 digitales normales y D3, D5, D6 PWM */

void LED (int led) //Función para seleccionar la matriz de LEDs a iluminar
{
  if (led==7 || led==4 || led==2)
  {
    digitalWrite (led,HIGH);
  }

  else
  {
    analogWrite (led,255);
  }
}

int casilla=0;
int cambio_funcionamiento=1000;
int cambio_juego=1000;
int i=0; //DEL ARRAY DE LOS COLORES PEDIDOS
int k=0; //DEL ARRAY DE LAS PULSACIONES DADAS
int aciertos=0;
int pedidos [6];
int pulsados [6];

```

```

void setup ()
{
  // pulsadores
  pinMode (8,INPUT);
  pinMode (12,INPUT);
  pinMode (13,INPUT);

  // Ánodos
  pinMode (2,OUTPUT);
  pinMode (4,OUTPUT);
  pinMode (7,OUTPUT);
  /*pinMode (3,OUTPUT);
  pinMode (5,OUTPUT);    PWM, LO HACEMOS CON ANALOGWRITE
  pinMode (6,OUTPUT);*/

  // analogRead (A0) ES DE MDJ
  // analogRead (A1) ES DE MDF
  // analogRead (A2) CONTIENE EL NIVEL DEL CUARTO BIT. BIT DE ACIERTO
}

void loop ()
{
  APAGADO();

  if (analogRead (A0) > 900) // MDJ2
  {
    cambio_juego=0;

    if (analogRead (A1) > 900)
    {
      randomSeed (analogRead (A3)); //TOMAMOS COMO SEMILLA EL RUIDO QUE SE
      GENERA EN LA ENTRADA ANALÓGICA 3
      // randomSeed (millis ());    PARA EVITAR QUE SALGA SIEMPRE EL MISMO
      ALEATORIO CON SEMILLA DE MILLIS()
      casilla = random (1,7);
      cambio_funcionamiento=0;

    }

    else if (analogRead (A1) < 100)

```

```

{
  if (i==0){ casilla=1; } else casilla++;

  cambio_funcionamiento=1;

  if (casilla > 6){ casilla=1; }
}

pedidos [i] = casilla;

for (int j=0; j<i+1;j++) //la variable j declarada así es interna a cada for
{
  //encendemos los colores almacenados en pedidos mientras que j sea
  menor que los colores acumulados

```

```

switch (pedidos [j])

```

```

{
  case 1:
    LED (2);
    AZUL();
    delay(3000);
    APAGADO();
    delay(500);
    break;

```

```

  case 2:
    LED (3);
    AMARILLO();
    delay(3000);
    APAGADO();
    delay(500);
    break;

```

```

  case 3:
    LED (4);
    ROJO();
    delay(3000);
    APAGADO();
    delay(500);
    break;

```

```

  case 4:

```

```

    LED (5);
    NARANJA();
    delay(3000);
    APAGADO();
    delay(500);
    break;

    case 5:
    LED (6);
    VIOLETA();
    delay(3000);
    APAGADO();
    delay(500);
    break;

    case 6:
    LED (7);
    VERDE();
    delay(3000);
    APAGADO();
    delay(500);
    break;
} //del switch
} //del for

```

for (int j=0; j<i+1; j++)// pedimos pulsaciones mientras que j sea menor que lo acumulado en el array de colores pedidos

```

{
    // CON ESTE WHILE HACEMOS QUE SE QUEDE ESPERANDO ALGUNA PULSACIÓN, Y
    ADEMÁS PERMITIMOS SALIR SIN HACER NADA, REINICIANDO VARIABLES EN CASO DE
    CAMBIAR ALGÚN MODO
    while (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
    HIGH)
    {
        //con esto permitimos que al cambiar de modo de funcionamiento, vuelva a
        empezar sin necesidad de pulsar el botón que ya se había quedado esperando
        if (cambio_funcionamiento==0 && analogRead (A1) < 100)
        {
            i=0;
            k=0;
            aciertos=0;

```



```
break; // SIN ESTOS BREAK AL CAMBIAR DE MODO CON EL INTERRUPTOR NO
SALDRÍAMOS DEL BUCLE WHILE, Y SEGUIRÍAMOS ESPERANDO PULSACIÓN
}
```

```
else if (cambio_funcionamiento==1 && analogRead (A1) > 900)
{
i=0;
k=0;
aciertos=0;
break;
}
```

//con esto permitimos que al cambiar de modo de juego, vuelva a empezar sin necesidad de pulsar el botón que ya se había quedado esperando

```
if (cambio_juego == 0 && analogRead (A0) < 100)
{
i=0;
k=0;
aciertos=0;
break; // SIN ESTOS BREAK AL CAMBIAR DE MODO CON EL INTERRUPTOR NO
SALDRÍAMOS DEL BUCLE WHILE, Y SEGUIRÍAMOS ESPERANDO PULSACIÓN
}
```

```
else if (cambio_juego == 1 && analogRead (A0) > 900)
{
i=0;
k=0;
aciertos=0;
break;
}
}
```

```
//COMPROBAMOS SI HAS PULSADO AZUL
if (digitalRead (8) == LOW && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
HIGH)
{
pulsados[k]=1;

while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}
```

```

//COMPROBAMOS SI HAS PULSADO AMARILLO
else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == LOW && digitalRead (13) ==
HIGH)
{
    pulsados[k]=2;

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

//COMPROBAMOS SI HAS PULSADO ROJO
else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
LOW)
{
    pulsados[k]=3;

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

//COMPROBAMOS SI HAS PULSADO NARANJA
else if (digitalRead (8) == LOW && digitalRead (12) == LOW && digitalRead (13) ==
HIGH)
{
    pulsados[k]=4;

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

//COMPROBAMOS SI HAS PULSADO VIOLETA
else if (digitalRead (8) == LOW && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
LOW)
{
    pulsados[k]=5;

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

```

```

//COMPROBAMOS SI HAS PULSADO VERDE
else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == LOW && digitalRead (13) ==
LOW)
{
    pulsados[k]=6;

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

```

```

//COMPROBAMOS SI SIMPLEMENTE HAS CAMBIADO DE MODO (Y POR TANTO NO
HAS PULSADO NINGÚN COLOR)
else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
HIGH) //Si cambiamos mdf estando ya en un case, no queremos que pase por el último
else de ese case
{
    break; // AL CAMBIAR MDF NO SE PULSA NINGÚN BOTÓN, ASÍ QUE SALIMOS DEL
BUCLE FOR SIN INTRODUCIR NINGÚN VALOR EN EL ARRAY DE PULSADOS. VOLVEMOS
AL INICIO DEL PROGRAMA
}

```

```

//COMPROBAMOS LOS ACIERTOS (TRAS CADA PULSACIÓN, NO DESPUÉS DE HABER
PULSADO TODAS)
if( pedidos[j] == pulsados[j])
{
    aciertos++;
    k++;

    if(aciertos == i+1)
    {
        tone (11,880,400); //A5 la
        delay (400);
        tone (11,785,400); //G5 sol
        delay (400);
        tone (11,880,400); //A5 la
        delay (400);
        i++;
        aciertos=0;
        k=0;
    }
}

```

```

    if(i>5)
    {
        i=0;
    }

```

break; // LOS BREAK SON NECESARIOS PORQUE DE NO PONRLOS TENDRÍAMOS UN PROBLEMA ADICIONAL: AL INCREMENTAR LA i, SE VOLVERÍA A CUMPLIR LA CONDICIÓN DEL FOR, QUEDANDO ASÍ UN BUCLE INFINITO

```

} // if de aciertos

```

```

} // if de pedidos[] = pulsados[]

```

```

//SI HAS FALLADO

```

```

else

```

```

{

```

```

    tone (11,523,800); //C5 do

```

```

    delay (800);

```

```

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}

```

```

    i=0;

```

```

    k=0;

```

```

    aciertos=0;

```

```

}

```

```

} //del for

```

```

} // del if de mdj

```

```

else // MDJ1

```

```

{

```

```

    cambio_juego=1;

```

```

// ENCENDEMOS AZUL

```

```

    if (digitalRead (8) == LOW && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) == HIGH
&& analogRead (A2) < 100)

```

```

    {

```

```

        LED (2);

```

```

AZUL();
delay(3000);
APAGADO();

while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

// ENCEDEMOS AMARILLO
else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == LOW && digitalRead (13) ==
HIGH && analogRead (A2) < 100)
{
LED (3);
AMARILLO();
delay(3000);
APAGADO();

while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

// ENCENDEMOS ROJO
else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
LOW && analogRead (A2) < 100)
{
LED (4);
ROJO();
delay(3000);
APAGADO();

while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
}

// ENCENDEMOS NARANJA
else if (digitalRead (8) == LOW && digitalRead (12) == LOW && digitalRead (13) ==
HIGH && analogRead (A2) < 100)
{
LED (5);
NARANJA();
delay(3000);

```

```

    APAGADO();

    while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
    }

    // ENCENDEMOS VIOLETA
    else if (digitalRead (8) == LOW && digitalRead (12) == HIGH && digitalRead (13) ==
LOW && analogRead (A2) < 100)
    {
        LED (6);
        VIOLETA();
        delay(3000);
        APAGADO();

        while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
        }

    // ENCENDEMOS VERDE
    else if (digitalRead (8) == HIGH && digitalRead (12) == LOW && digitalRead (13) ==
LOW && analogRead (A2) < 100)
    {
        LED (7);
        VERDE();
        delay(3000);
        APAGADO();

        while (digitalRead (8) == LOW || digitalRead (12) == LOW || digitalRead (13) ==
LOW) {}
        }

    }

}

```

Índice de acrónimos

TFG Trabajo Fin de Grado

PCB Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso)

LED Light-Emitting Diode (Diodo emisor de luz)

RGB (Red Green Blue): Hace referencia a LEDs especiales capaces de generar por modulación cualquier color a partir de la mezcla de primarios.

MDF Modo de funcionamiento

MDJ Modo de juego

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

RF Radio Frecuencia

AM Amplitud Modulada

FM Frecuencia Modulada

IR Infrared (infrarrojos)

DC Duty Cycle

AGC Automatic Gain Control

CFP Corrector de factor de potencia

ADC Analog Digital Converter

IC Integrated Circuit